



TUGAS AKHIR-RC14-1501

# **STUDI PERBANDINGAN BERBAGAI TIPE BALOK *REDUCED BEAM SECTION* DENGAN METODE FINITE ELEMENT**

WIDYA ARI PRIMADI  
NRP 3111 100 062

Dosen Pembimbing  
Budi Suswanto, ST, MT, Ph.D  
Dwi Prasetya, ST, MT, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT-RC14-1501**

# **COMPARATIVE STUDY OF VARIOUS TYPES OF REDUCED BEAM SECTION BEAMS WITH FINITE ELEMENT METHOD**

**WIDYA ARI PRIMADI**  
**NRP 3111 100 062**

**Major Supervisors**  
**Budi Suswanto, ST, MT, Ph.D**  
**Dwi Prasetya, ST, MT, M.Sc**

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT**  
**Faculty of Civil Engineering and Planning**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2015**

**STUDI PERBANDINGAN BERBAGAI TIPE BALOK  
REDUCED BEAM SECTION DENGAN METODE FINITE  
ELEMENT**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Struktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Oleh :  
WIDYA ARI PRIMADI  
NRP : 3111 100 062**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Budi Suswanto, ST, MT, Ph.D .....(Pembimbing I)**  
NIP. 19730128199021007

**Dwi Prasetya, ST, MT, M.Sc .....(Pembimbing II )**  
NIP. 3100201405003



**SURABAYA  
JUNI, 2015**

# COMPARATIVE STUDY OF VARIOUS TYPES OF REDUCED BEAM SECTION BEAMS WITH FINITE ELEMENT METHOD

**Name** : Widya Ari Primadi  
**NRP** : 31 11 100 062  
**Faculty** : Civil Engineering FTSP ITS  
**Supervisors** : Budi Suswanto, ST, M.Sc, Ph.D  
Dwi Prasetya, ST, MT, M.Sc

## ***Abstract:***

*An earthquake in Northridge, (1994) and Kobe (1995) resulted in the failure of some structures. It is caused due to the structures didn't planned well in case of an earthquake. Failures in some steel structures occur on the connection that connects the column to the beam. After that event, designs and ideas emerging to find a solution to the problem.*

*Several studies have found some design of connection between beam with columns. Reduced Beam Section (RBS) is an engineering structure in which the cross-section of the beam will be reduced in such a way that resulted in an intentional failure of the structure on the beam, or more precisely in the plastic hinges.*

*Reduced Beam Section been widely used in recent years but still there are some things that need to be researched again. Moreover, regarding the design of RBS is used to improve the ductility and effectiveness of the use if the terms of moments and shear that occur on the connection structure.*

*Further research resulted reduced beam section beams in various types. Therefore, in this final project will*

*be studies the comparisons between multiple types of beam section beams.*

*The method used in this final project is begins with a study of literature in order to obtain the required reference, then the preliminary design plan for beams and columns. Then proceed with the design dimensions of several types of beams RBS. After that, the dimensions of some types RBS beam will be controlled. If the design is satisfy, then proceed with loading process. Loading method will be analyzed by displacement loading. Loading process will use ABAQUS program. The last stage, is to obtain comparative analysis of several types. This final project is expected to determine the ratio of several types of beams RBS.*

***Keywords: Reduced Beam Section, Welded Connection, ABAQUS, Ductile***

# **STUDI PERBANDINGAN BERBAGAI TIPE BALOK REDUCED BEAM SECTION DENGAN METODE FINITE ELEMENT**

**Nama Mahasiswa : Widya Ari Primadi**  
**NRP : 31 11 100 062**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSP ITS**  
**Dosen Pembimbing : Budi Suswanto, ST, M.Sc, Ph.D**  
**Dwi Prasetya, ST, MT, M.Sc**

## ***Abstrak:***

*Gempa yang terjadi di Northridge, (1994) dan Kobe (1995) mengakibatkan terjadinya kegagalan beberapa struktur. Hal ini disebabkan akibat tidak direncanakannya struktur tersebut apabila terjadi gempa dengan baik. Kegagalan yang terjadi pada beberapa struktur bermaterialkan baja terjadi pada sambungan yang menghubungkan kolom dengan balok. Setelah kejadian tersebut, ide maupun desain baru bermunculan untuk menemukan solusi terhadap masalah tersebut.*

*Beberapa studi telah menemukan beberapa desain sambungan antar balok dengan kolom. Balok jenis Reduced Beam Section (RBS) merupakan sebuah rekayasa struktur dimana penampang dari balok akan direduksi sedemikian rupa yang berakibat sebuah struktur tersebut disengaja mengalami kegagalan pada balok, atau lebih tepatnya pada sendi plastisnya.*

*Balok Reduced Beam Section telah banyak digunakan dalam beberapa tahun terakhir ini, tetapi masih ada beberapa hal yang perlu diteliti lagi. Terlebih adalah mengenai desain RBS yang digunakan untuk meningkatkan*

*daktilitas dan efektivitas penggunaan jika ditinjau dari momen dan geser yang terjadi pada sambungan struktur.*

*Penelitian lebih lanjut menghasilkan balok reduced beam section dengan berbagai macam tipe. Oleh karenanya, pada tugas akhir ini akan dilakukan perbandingan antara beberapa tipe balok reduced beam section yang ada.*

*Metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah diawali dari studi literatur guna mendapatkan referensi yang dibutuhkan, kemudian merencanakan preliminary design untuk balok dan kolom. Kemudian dilanjutkan dengan mendesain dimensi beberapa tipe balok RBS. Setelah itu, dimensi balok RBS dari beberapa tipe tersebut dilakukan kontrol. Apabila memenuhi, kemudian dilanjutkan dengan pembebanan. Pembebanan dilakukan dengan dua metode. Yaitu pembebanan dengan axial loading dan pembebanan displacement. Pembebanan tersebut dilakukan dengan program bantu ABAQUS. Tahap terakhir, dilakukan analisa untuk mendapatkan perbandingan dari beberapa tipe tersebut. Jika ditinjau dari perbandingan tegangan, momen, dan  $M-\phi$  diagram, balok Reduced Beam Section tipe Radius Cut memiliki efektivitas paling baik dibanding balok tipe yang lain.*

***Kata Kunci: Reduced Beam Section, Welded Connection, ABAQUS, Daktilitas***

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, karena hanya atas berkah dan anugerahNya penulis dapat menyelesaikan proposal Tugas Akhir ini dengan baik.

Dalam penyelesaiannya sudah tentu penulis banyak mendapatkan kesulitan-kesulitan. Namun atas bantuan berbagai pihak tugas ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu dan Ayah, yang selalu memberikan motivasi dan doa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Budi Suswanto, ST, MT, Ph.D selaku dosen pembimbing.
3. Dwi Prasetya, ST, MT, M.Sc selaku dosen pembimbing.
4. Danang Prayoga Setiawan, Gita Wahyu Romadhona, atas bantuan dan kerjasamanya selaku rekan seperjuangan Tugas Akhir dengan metode yang sejenis.
5. Amron Dhufail Khaidar Subagustian, atas bantuan pinjaman laptop, sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
6. Devita Luthfia Fitrianasari, yang selalu memotivasi dan mendampingi dari awal hingga selesainya tugas akhir ini.
7. Beserta pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhirini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran sangat saya butuhkan dalam penyempurnaan tugas berikutnya. Saya berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang berminat.

Akhir kata penulis memohon maaf jika ada kesalahan dalam penulisan dan penganalisaan tugas akhir ini. Atas perhatian pembaca, penulis sampaikan terima kasih.

Surabaya, 16 Juni 2015

Penyusun



## DAFTAR ISI

Cover Dalam .....	i
Cover Dalam Bahasa Inggris .....	ii
Lembar Pengesahan .....	iii
Abstrak .....	iv
Abstrak Bahasa Inggris .....	vi
Kata Pengantar .....	viii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Gambar .....	xii
Daftar Tabel .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Umum .....	3
2.2 Studi Sebelumnya .....	3
2.3 Studi Literatur .....	8
2.4 Kontrol Desain .....	8
2.4.1 Desain Welded Connection .....	8
2.4.2 Desain Panel Zone .....	11
2.4.3 Konsep Strong Column Weak Beam .....	12
2.5 Analisa Hasil dan Perbandingan .....	12
BAB III METODOLOGI .....	15
3.1 Diagram Alir .....	15
3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	16
3.2.1 Studi Literatur .....	17
3.2.2 Preliminary Design .....	17

3.2.3 Penentuan Desain Balok RBS .....	19
3.2.3.1 Tipe Straight Cut RBS .....	24
3.2.3.2 Tipe Tapered Cut RBS .....	24
3.2.3.3 Tipe Radius Cut RBS .....	25
3.2.3.4 Tipe Drilled Flanges RBS .....	27
3.2.4 Kontrol Desain .....	28
3.2.5 Pembebanan .....	28
3.2.6 Analisa Perilaku Model dengan Abaqus ..	29
3.2.7 Analisa Hasil dan Perbandingan .....	30
BAB IV PERHITUNGAN .....	31
4.1 Perhitungan Kapasitas Balok Reduced Beam Section .....	31
4.1.1 Balok Reduced Beam Section Tipe Radius Cut .....	32
4.1.2 Balok Reduced Beam Section Tipe Tapered Cut .....	34
4.1.3 Balok Reduced Beam Section Tipe Straight Cut .....	36
4.1.4 Balok Reduced Beam Section Tipe Drilled Flanges .....	37
4.2 Desain Welded Connection, Panel Zone, dan Kontrol Strong Column Weak Beam .....	40
4.2.1 Desain Welded Connection .....	40
4.2.2 Desain Panel Zone .....	42
4.2.3 Kontrol konsep <i>Strong Column Weak Beam</i> ....	45
4.3 Tahapan Pengerjaan Model Dengan Program Abaqus 6.13 .....	47
BAB V ANALISA HASIL DENGAN PROGRAM ABAQUS .....	67
5.1 Pemodelan Pada Abaqus .....	67
5.1 Hasil Output Dari Program Abaqus .....	68

5.2 Analisa Perbandingan Efektivitas Balok RBS ...	73
5.3 Analisa Perbandingan Efektivitas Dengan M- $\phi$ Diagram .....	77
BAB VI KESIMPULAN .....	83
6.1 Kesimpulan .....	83
6.2 Saran .....	83
Daftar Pustaka .....	85
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Detail Ukuran Profil yang Digunakan Pada Penelitian Sebelumnya .....	5
Tabel 3.1 Preliminary Design Kolom dan Balok yang Digunakan .....	19
Tabel 3.2 Luasan Terkurangi ke-empat Tipe Balok RBS .....	20
Tabel 3.3 Batasan Dimensi Balok RBS Radius Cut Menurut FEMA 350 .....	27
Tabel 4.1 Ketentuan Kapasitas Balok RBS Tipe Radius Cut Sesuai FEMA 350 .....	33
Tabel 4.2 Koordinat RBS Drilled Flanges Pada Program Abaqus .....	49
Tabel 4.3 Koordinat RBS Radius Cut Pada Program Abaqus .....	50
Tabel 4.4 Koordinat RBS Straight Cut Pada Program Abaqus .....	51
Tabel 4.5 Koordinat RBS Tapered Cut Pada Program Abaqus .....	53
Tabel 4.6 Tegangan-Regangan Baja BJ41 .....	55
Tabel 5.1 Gaya Tarik Maksimum yang Terjadi .....	70
Tabel 5.2 Gaya Tekan Maksimum yang Terjadi .....	71
Tabel 5.3 Momen yang Terjadi Pada Daerah RBS ....	75
Tabel 5.4 Perbandingan Efektivitas Balok RBS .....	76
Tabel 5.5 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe Drilled Flanges .....	77
Tabel 5.6 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe Radius Cut .....	78

Tabel 5.7 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe	
Straight Cut.....	79
Tabel 5.8 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe	
Tapered Cut .....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe RBS Pada Studi Sebelumnya .....	4
Gambar 2.2 Dimensi Balok dan Kolom yang Digunakan Pada Studi Sebelumnya ....	5
Gambar 2.3 Distribusi Von Mises Pada 0,05 radian Di Tiap-Tiap Tipe Balok RBS .....	7
Gambar 2.4 Sambungan Welded Connection .....	9
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir ..	16
Gambar 3.2 Pemodelan Hubungan Balok Kolom yang Digunakan .....	18
Gambar 3.3 Balok Reduced Beam Section Tipe Straight Cut .....	24
Gambar 3.4 Balok Reduced Beam Section Tipe Tapered Cut .....	25
Gambar 3.5 Balok Reduced Beam Section Tipe Radius Cut .....	26
Gambar 3.6 Dimensi Balok Reduced Beam Section Tipe Radius Cut .....	26
Gambar 3.7 Balok Reduced Beam Section Tipe Drilled Flanges .....	27
Gambar 3.8 Pemodelan Pembebanan Displacement...	28
Gambar 3.9 Karakteristik Tegangan Pada Baja Ketika Dikenai Beban .....	29
Gambar 4.1 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS Tipe Radius Cut .....	32
Gambar 4.2 Dimensi Pemodelan Balok RBS Tipe Radius Cut .....	34
Gambar 4.3 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS Tipe Tapered Cut .....	34

Gambar 4.4 Dimensi Pemodelan Balok RBS	
Tipe Tapered Cut .....	35
Gambar 4.5 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan	
Balok RBS Tipe Straight Cut.....	36
Gambar 4.6 Dimensi Pemodelan Balok RBS	
Tipe Straight Cut .....	37
Gambar 4.7 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan	
Balok RBS Tipe Drilled Flanges .....	37
Gambar 4.8 Dimensi Pemodelan Balok RBS	
Tipe Tapered Cut .....	39
Gambar 4.9 Desain Welded Connection .....	40
Gambar 4.10 Tampilan Model Manager.....	47
Gambar 4.11 Pemodelan Balok WF dengan	
Koordinat.....	48
Gambar 4.12 Tampilan Part Untuk Balok	
RBS Drilled Flanges .....	50
Gambar 4.13 Tampilan Part Untuk Balok	
RBS Radius Cut.....	51
Gambar 4.14 Tampilan Part Untuk Balok	
RBS Straight Cut.....	52
Gambar 4.15 Tampilan Part Untuk Balok	
RBS Tapered Cut.....	53
Gambar 4.16 Grafik Tegangan-Regangan Baja .....	54
Gambar 4.17 Tampilan Property Plastic Pada	
Program Abaqus.....	55
Gambar 4.18 Proses Assembly Balok RBS	
Drilled Flanges .....	56
Gambar 4.19 Proses Assembly Balok RBS	
Radius Cut .....	57
Gambar 4.20 Proses Assembly Balok RBS	
Straight Cut .....	58

Gambar 4.21 Proses Assembly Balok RBS	
Tapered Cut .....	59
Gambar 4.22 Create Step Pada Modul Step .....	60
Gambar 4.23 Step Manager Pemodelan .....	60
Gambar 4.24 Area Perletakan Sendi	
(Highlight Merah) .....	61
Gambar 4.25 Area Pembebanan Displacement	
(Highlight Merah).....	62
Gambar 4.26 Input Beban Displacement .....	62
Gambar 4.27 Mesh Pemodelan (a) Balok RBS	
drilled flanges, (b) Balok RBS	
radius cut, (c) Balok RBS	
straight cut, (d) Balok RBS	
tapered cut.....	63
Gambar 4.28 Job Manager .....	64
Gambar 4.29 Create Job.....	64
Gambar 5.1 Pemodelan Pembebanan Pada	
Program Abaqus v6.13 .....	67
Gambar 5.2 Hasil S33 Pada Balok RBS	
Drilled Flanges .....	68
Gambar 5.3 Hasil S33 Pada Balok RBS	
Radius Cut .....	68
Gambar 5.4 Hasil S33 Pada Balok RBS	
Straight Cut .....	69
Gambar 5.5 Hasil S33 Pada Balok RBS	
Tapered Cut .....	69
Gambar 5.6 Grafik Tegangan Tarik Maksimum	
yang Terjadi.....	72
Gambar 5.7 Grafik Tegangan Tekan Maksimum	
yang Terjadi.....	72



Gambar 5.8 Daerah Terkurangi Pada Penampang RBS.....	73
Gambar 5.9 M- $\phi$ Diagram Keempat Balok RBS .....	81

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gempa yang terjadi di Northridge, (1994) dan Kobe (1995) mengakibatkan terjadinya kegagalan beberapa struktur. Hal ini disebabkan akibat tidak direncanakannya struktur tersebut apabila terjadi gempa dengan baik. Kegagalan yang terjadi pada beberapa struktur bermaterialkan baja terjadi pada sambungan yang menghubungkan kolom dengan balok. Setelah kejadian tersebut, ide maupun desain baru bermunculan untuk menemukan solusi terhadap masalah tersebut.

Beberapa studi telah menemukan beberapa desain sambungan antar balok dengan kolom, atau yang sering disebut hubungan balok kolom yang mengakibatkan sebuah struktur tidak mengalami kegagalan pada hubungan balok kolomnya. Balok jenis *Reduced Beam Section* (RBS) merupakan sebuah rekayasa struktur dimana penampang dari balok akan direduksi sedemikian rupa yang berakibat sebuah struktur tersebut disengaja mengalami kegagalan pada balok, atau lebih tepatnya pada sendi plastisnya.

Balok *Reduced Beam Section* telah banyak digunakan dalam beberapa tahun terakhir ini, tetapi masih ada beberapa hal yang perlu diteliti lagi. Terlebih adalah mengenai desain RBS yang digunakan untuk meningkatkan daktilitas dan efektivitas penggunaan jika ditinjau dari momen dan geser yang terjadi pada sambungan struktur. Dalam tugas akhir ini akan menganalisis beberapa desain balok RBS dengan sambungan tipe *Welded Connection*, untuk mendapatkan desain sambungan balok RBS yang paling optimum.

### 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan kapasitas balok dari masing-masing tipe RBS?
2. Bagaimana perilaku (tegangan dan regangan) yang terjadi pada balok RBS untuk masing-masing tipe?
3. Bagaimana perbandingan efektivitas tiap tipe balok RBS?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan pada pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan kapasitas balok RBS untuk masing-masing model.
2. Mendapatkan perilaku (tegangan dan regangan) yang terjadi pada balok RBS untuk masing-masing model.
3. Mendapatkan perbandingan efektivitas tiap model balok RBS.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Pada pembuatan tugas akhir ini hanya perilaku balok dengan jenis balok *Reduced Beam Section* dengan sambungan *Welded Connection*.
2. Pada pembuatan tugas akhir ini digunakan program berbasis Finite Element untuk menghitung perilaku balok.
3. Pada pembuatan tugas akhir ini menggunakan kolom WF dengan dimensi 400x400x16x24 dan balok WF dengan dimensi 500x200x10x16.
4. Tidak menghitung anggaran biaya.

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang didapat dari pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan struktur dengan menggunakan material baja balok RBS.

## **BAB II**

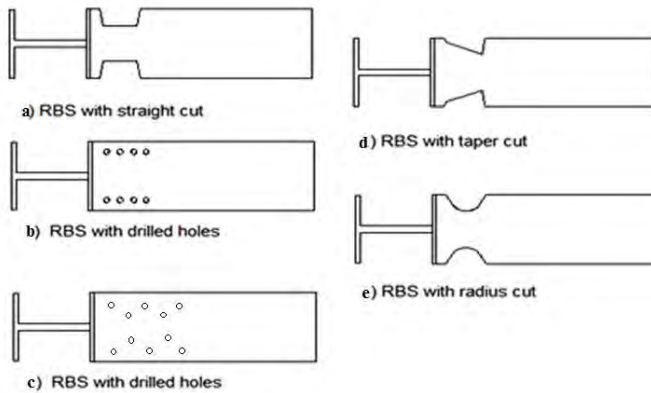
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Beberapa struktur rangka momen menggunakan las akan terjadi rapuh pada sambungan antara kolom dan baloknya, yang diyakini sebagai penyebab utama pada kegagalan pada struktur apabila terdapat sebuah gempa (Shakya, 2011). Oleh karenanya, perlu diciptakan rekayasa pada balok agar apabila terjadi kegagalan struktur tidak menimpa pada hubungan balok kolomnya. Salah satunya adalah metode Reduced Beam Section. Hal yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah mengenai perilaku dari tiap-tiap tipe balok Reduced Beam Section dengan menggunakan sambungan tipe Welded Connection. Pada pengerjaan tugas akhir ini akan membandingkan kemampuan dari empat tipe balok Reduced Beam Section (Straight Cut, Tapered Cut, Radius Cut, dan Drilled Flanges) yang akan dibebani menggunakan dua macam pembebanan. Yaitu pembebanan aksial dan Pembebanan displacement. Kemudian pemodelan dianalisa dengan metode finite element.

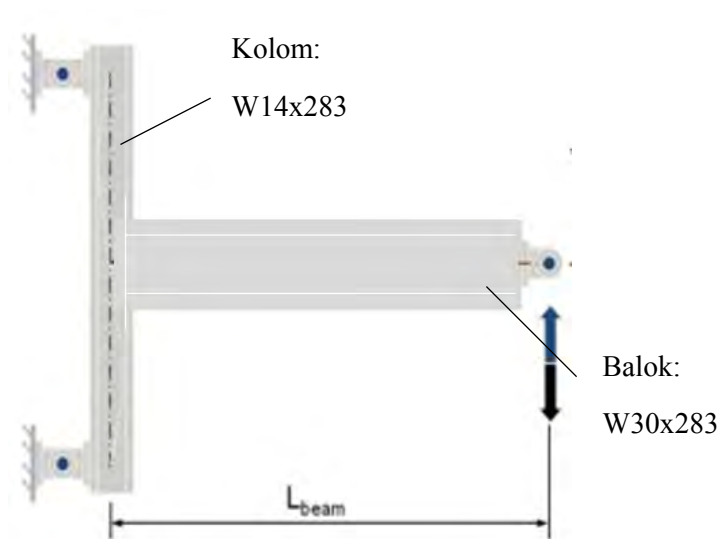
#### **2.2 Studi Sebelumnya**

Studi sebelumnya yang identik dengan studi ini adalah studi dari Ajay, 2013, yang membahas tentang profil Reduced Beam Section dengan menggunakan profil yang umum di Negara penulis, India. Pada studi tersebut dilakukan analisa terhadap lima tipe balok Reduced Beam Section. Kelima tipe tersebut adalah straight cut, taper cut, drilled holes (1), drilled holes (2), dan radius cut seperti terlihat pada Gambar 2.1:



*Gambar 2.1 Tipe RBS Pada Studi Sebelumnya*

Dimensi Balok dan Kolom yang digunakan pada studi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2:



*Gambar 2.2 Dimensi Balok dan Kolom yang Digunakan Pada Studi Sebelumnya*

Dengan detail ukuran profil dan dimensi tiap-tiap tipe balok RBS dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2:

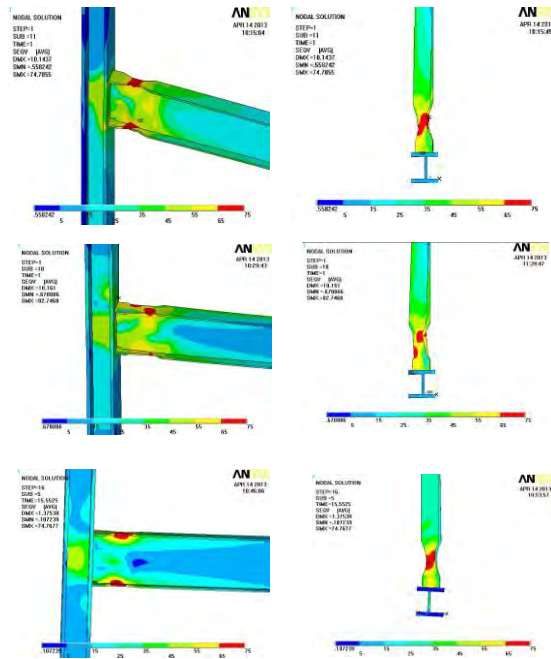
*Tabel 2.1 Detail Ukuran Profil yang Digunakan Pada Penelitian Sebelumnya*

Member	Depth (d) in.	Web Thick $t_w$ (in)	Flange Width $b_f$ (in)	Flange Thick $t_f$ (in)	Moment of Inertia ( $\text{in}^3$ )
W 14× 283	16.74	1.29	16.11	2.07	3080
W 30 × 283	30.31	0.62	10.55	1.00	5770

*Tabel 2.2 Detail Dimensi Tiap Tipe Balok Reduced Beam Section*

RBS 2 ( W 14 ×283)	Straight Cut	Taper Cut	Radius Cut
$Z_x$ ( in. <sup>3</sup> )	278.82	278.82	278.82
$Z_y$ ( in. <sup>3</sup> )	433.64	433.64	433.64
$Z_{xx}$ ( in. <sup>3</sup> )	309.22	309.22	309.22
$(1 - r)$	0.5	0.5	0.5
$a'$ (in.)	6.5	6.5	6.5
$\frac{(1-r)b_f}{2}$ ( in.)	2.64	2.64	2.64
$e$ ( in.)	17	23.505	17
Length of the beam from column centre (in)	156	156	156
Height of the column (in)	194	194	194

Setelah dilakukan pembebanan displacement pada 0,05 radian, didapatkan hasil seperti pada gambar 2.3:



*Gambar 2.3 Distribusi Von Mises Pada 0,05 radian Di Tiap-Tiap Tipe Balok RBS*

Dan kesimpulan dari studi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tegangan Von Mises maksimum untuk semua tipe adalah 65 hingga 75 ksi untuk 0,05 radian. Tegangan di daerah panel zone adalah 35 hingga 55 ksi untuk semua tipe.
2. Kontur tegangan bermacam-macam pada setiap tipe RBS. Untuk tipe tapered cut dan straight cut RBS konsentrasi



- tegangan terdapat di sekitar daerah flens dimana akan memungkinkan terjadinya kegagalan di flens
3. Pada pembebanan displacement 0,05 radian terjadi lateral buckling pada balok dan flens kolom terjadi local buckling hampir sama untuk semua tipe balok RBS.
  4. Studi ini menggunakan profil balok di Negara setempat.

## **2.3 Studi Literatur**

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini peraturan-peraturan yang digunakan adalah:

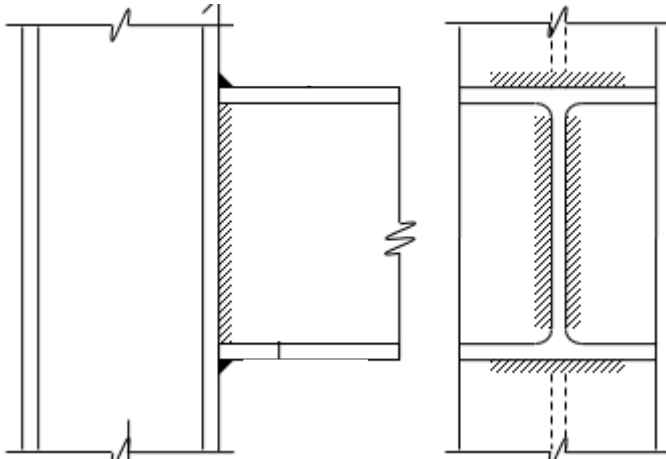
- Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2013)
- FEMA 350 12000, Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings.

## **2.4 Kontrol Desain**

Kontrol desain diperlukan untuk mengecek apakah dimensi-dimensi yang ditentukan memenuhi peraturan yang berlaku. Kontrol yang dihitung ditinjau dari jenis sambungannya yaitu sambungan tipe welded connection, panel zone, dan konsep *strong column weak beam*.

### **2.4.1 Desain Welded Connection**

Sambungan tipe welded connection banyak digunakan pada hubungan balok kolom. Bentuk sambungan welded connection seperti gambar 2.4:



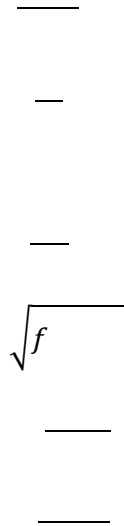
*Gambar 2.4 Sambungan Welded Connection*

Menurut Isdarmanu, 2006 dalam bukunya “Struktur Baja 1” las adalah penyatuan dari dua macam logam dengan cara pengikatan metalurgi dengan melelehkan logamnya. Dalam buku yang sama, dijelaskan bahwa keuntungan menggunakan welded connection adalah sebagai berikut:

- Hemat bahan baja
- Pengerjaan yang cepat
- Bentuk lebih bagus

Ketebalan welded connection dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$2(t \quad ))$$



Keterangan:

$f_u$  = Tegangan ultimate baja yang digunakan ( $\text{kg/cm}^2$ )

$f_{EXX}$  = Tegangan putus las ( $\text{kg/cm}^2$ )

$t_w$  = Tebal web balok (cm)

$t_f$  = Tebal flange balok (cm)

$I_x$  = Inersia ( $\text{cm}^4$ )

$S_x$  = Modulus Elastis balok ( $\text{cm}^3$ )

$P_u$  = Beban Geser Sentris yang terjadi (kg)

$M_u$  = Momen Lentur yang terjadi (kgcm)

$a_{perlu}$  = Tebal las yang dibutuhkan (cm)

### 2.4.2 Desain Panel Zone

Kebutuhan panel zone di desain berdasarkan SNI 03-1729-2002 tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung. Gaya geser terfaktor  $V_u$  pada daerah panel ditentukan berdasarkan momen lentur balok sesuai dengan kombinasi pembebanan. Namun,  $V_u$  tidak perlu melebihi gaya geser yang ditetapkan berdasarkan  $0,8 \sum R_y M_p$  dari balok-balok yang merangka pada sayap kolom disambungkan. Kuat geser rencana  $\phi_v V_n$  panel ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Bila } N_u \leq 0,75 N_y,$$

$$\phi_v V_n = \left[ 1 \quad \text{---} \right]$$

$$M_u = 0,8 \sum R_y M_p$$

$$V_{col} = \frac{0,8 \sum R_y M_p}{\sum h}$$

$$T_b = C_b = \frac{0,8 \sum R_y M_p}{d - t_f}$$

$$V_{ju} = T_{b,ka} + C_{b,ki} - V_{col}$$

Kontrol panel zone terhadap kekuatan

$$V_{ju} \geq \phi_v V_n$$

Tebal panel zone yang dibutuhkan

$$t_{pz} \geq t_p \frac{V_{ju}}{\phi_v V_n}$$

### 2.4.3 Konsep Strong Column Weak Beam

Pada pengerjaan tugas akhir ini, pemodelan yang dirancang harus dapat memenuhi konsep *strong column weak beam*, dimana sendi plastis direncanakan terjadi di balok untuk meratakan energi gempa yang masuk.

Konsep desain kapasitas dipakai untuk merencanakan kolom-kolom pada struktur agar lebih kuat dibanding dengan elemen-elemen balok (Strong Coloumn Weak Beam) (Yudhi, 2007). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- Pada mekanisme sendi plastis pada balok pemencaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur, sedang pada mekanisme sendi plastis kolom pemencaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
- Pada mekanisme sendi plastis pada balok, bahaya ketidakstabilan akibat efek perpindahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan mekanisme sendi plastis pada kolom.
- Keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan total dari keseluruhan bangunan.

Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas elemen-elemen utama penahan gempa dapat dipilih, direncanakan dan detail sedemikian rupa sehingga mampu memencarkan energi gempa yang cukup besar tanpa mengalami keruntuhan struktur secara total, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

### 2.5 Analisa Hasil dan Perbandingan

Setelah mendapatkan perilaku yang terjadi pada ke-empat tipe balok Reduced Beam Section, berikutnya hasilnya akan dibandingkan untuk mendapatkan jenis balok RBS yang paling

optimum. Pada tugas akhir ini akan dilakukan juga perbandingan terhadap hasil studi sebelumnya.

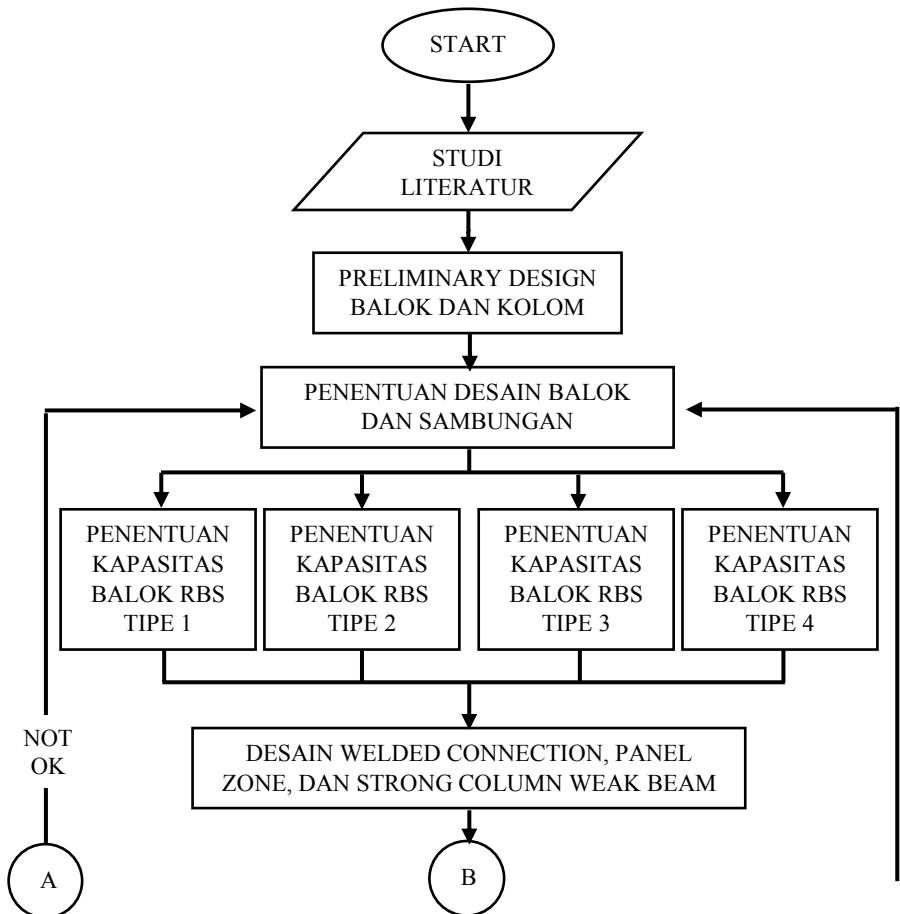
*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BAB III

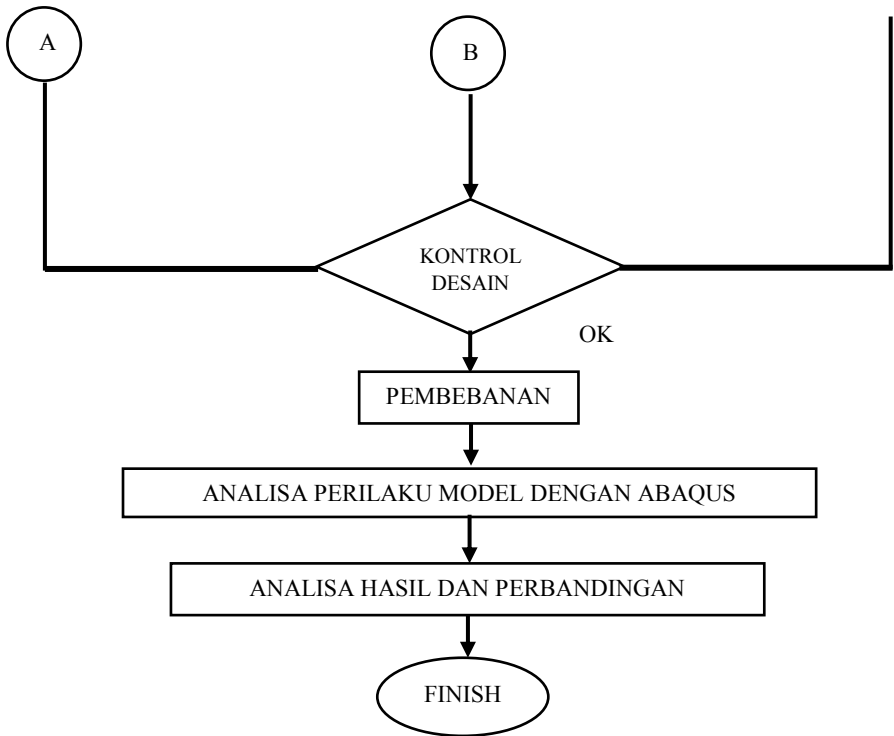
### METODOLOGI

#### 3.1 Diagram Alir

Berikut ini adalah diagram alir pengerjaan Tugas Akhir.







*Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir*

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Konsep dasar tugas akhir ini adalah ingin membandingkan kekuatan berbagai tipe balok Reduced Beam Section maupun perilaku pada sambungan (displacement, tegangan dan regangan) dan mengetahui tipe mana yang paling baik. Berdasarkan urutan diagram alir, berikut adalah penjelasan

metode-metode yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini.

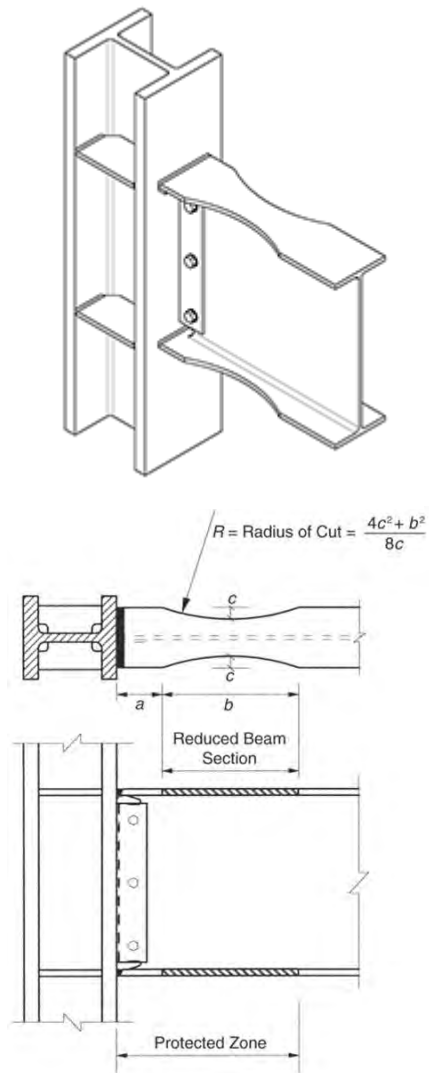
### **3.2.1 Studi Literatur**

Studi literatur adalah pedoman yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

### **3.2.2 Preliminary Design**

Preliminary Design adalah rencana awal dalam menentukan sebuah desain struktur. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, ada dua elemen struktur yang ditinjau untuk preliminary design, yaitu kolom dan balok yang tersusun dalam sebuah hubungan balok kolom.

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini direncanakan sebuah pemodelan pada hubungan balok kolom, terdiri atas 2 kolom (menerus atas bawah) dan sebuah balok seperti gambar 3.2:



*Gambar 3.2 Pemodelan Hubungan Balok Kolom yang Digunakan*

Dimensi yang digunakan untuk preliminary design tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel 3.1:

*Tabel 3.1 Preliminary Design Kolom dan Balok yang Digunakan*

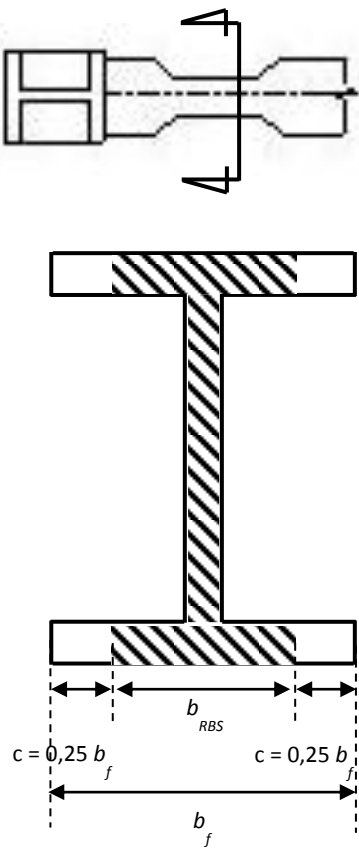
NO	ELEMEN STRUKTUR	DIMENSI PRELIMINARY DESIGN
1.	Kolom	WF 400x400x16x24
2.	Balok	WF 500x200x10x16

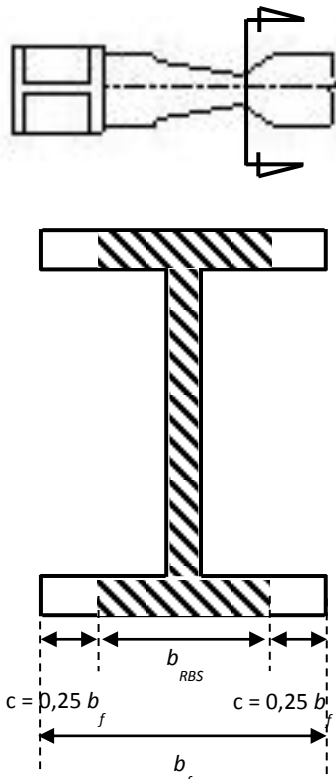
### 3.2.3 Penentuan Desain Balok RBS

Setelah mendapatkan dimensi preliminary design untuk balok dan kolom, selanjutnya menentukan dimensi dari empat tipe balok reduced beam section (RBS) yang akan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Keempat tipe balok RBS tersebut adalah balok RBS tipe straight cut, balok RBS tipe tapered cut, balok RBS tipe radius cut, dan balok RBS tipe drilled flanges. Selain menentukan dimensi balok RBS, juga ditentukan kebutuhan dari las yang akan digunakan untuk sambungan welded connection.

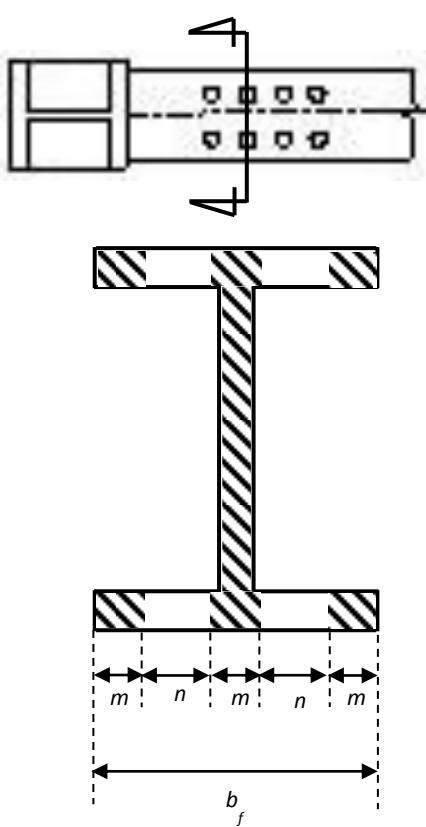
Pada pengerjaan Tugas Akhir ini akan dianalisa empat tipe dari balok baja Reduced Beam Section. Dari keempat tipe balok RBS yang digunakan, hanya balok tipe Radius Cut yang dimensinya diatur dalam FEMA 350 maupun SNI 03-1729-2002, sehingga untuk menentukan dimensi balok tipe yang lain, digunakan sebuah pendekatan dimana luasan penampang balok yang direncanakan terkena sendi plastis adalah 50% dari luasan total. Berikut ilustrasi untuk menjabarkan penjelasan mengenai luasan penampang balok RBS:

Tabel 3.2 Luasan Terkurangi ke-empat Tipe Balok RBS

NO	TIPE BALOK RBS	GAMBAR
1	Straight Cut RBS	 <p>The diagram illustrates the Straight Cut RBS (Reduced Section) beam. The top part shows a side view of the beam with a central cutout. The bottom part shows a cross-section of the beam. The cross-section is an I-beam with a central web and two flanges. The web has a central cutout. The dimensions are labeled as follows: <math>b_f</math> is the flange width, <math>b_{RBS}</math> is the width of the reduced section, and <math>c = 0,25 b_f</math> is the distance from the edge of the flange to the edge of the reduced section.</p>

2	Tapered Cut RBS	

3	Radius Cut RBS	<p>The diagram illustrates a Radius Cut Rolled Built-up Section (RBS). It consists of two parts: a side view at the top and a cross-section at the bottom. The side view shows a horizontal beam with a central section that has a smooth, curved transition (radius cut) between the flanges and the web. The cross-section shows an I-beam shape with a central web and two flanges. The web is shaded with diagonal lines. The flanges are also shaded with diagonal lines, but the central portion of the flanges is cut out, leaving a central section of width <math>b_{RBS}</math>. The total width of the flanges is <math>b_f</math>. The distance from the centerline of the web to the outer edge of the flange is <math>c = 0,25 b_f</math>. The diagram is labeled 'Radius Cut RBS'.</p>

4	Drilled Flanges RBS	
<p>Keterangan:</p> <p>Pada tipe RBS <i>drilled flanges</i>,</p> <p><math>m</math> = bagian flens balok yang tidak dilubangi</p> <p><math>n</math> = bagian flens yang dilubangi</p>		

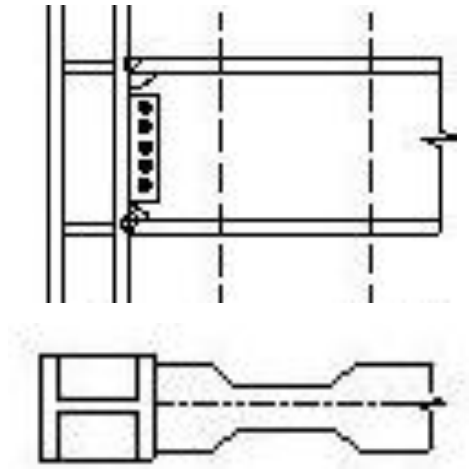


panjang total flens balok yang berkurang = setengah panjang flens total, sehingga panjang  $m = 1/6$  panjang flens, dan  $n = 1/4$  panjang flens.

Dan berikut ini adalah detail penjelasan ke-empat tipe balok Reduced Beam Section:

### 3.2.3.1 Tipe Straight Cut RBS

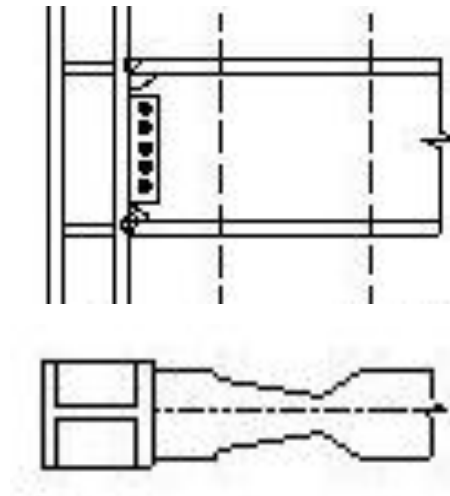
Balok Reduced Beam Section tipe ini membentuk sudut tumpul disetiap sisi lekukannya. Bentuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.3:



*Gambar 3.3 Balok Reduced Beam Section Tipe Straight Cut*

### 3.2.3.2 Tipe Tapered Cut RBS

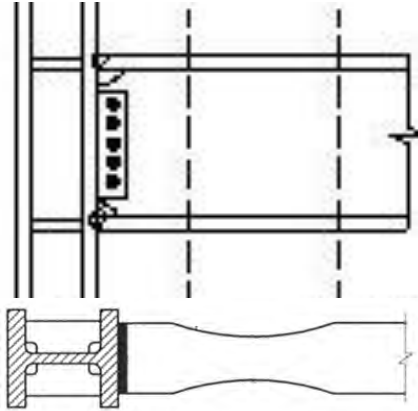
Balok Reduced Beam Section tipe ini hampir sama dengan tipe straight cut. Namun bedanya terletak pada lekukannya. Jika pada tipe straight cut antar lekukan dalam memiliki sudut yang sama, pada tipe tapered cut memiliki sudut lekukan dalam yang berbeda. Lebar flens semakin mengecil ketika semakin menjauhi muka kolom. Bentuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.4:



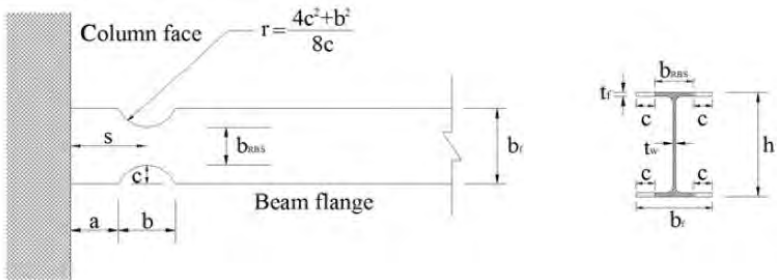
*Gambar 3.4 Balok Reduced Beam Section Tipe Tapered Cut*

### 3.2.3.3 Tipe Radius Cut RBS

Balok Reduced Beam Section tipe ini berbentuk setengah lingkaran (radius) pada daerah sendi plastisnya. Bentuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.5 dan gambar 3.6:



*Gambar 3.5 Balok Reduced Beam Section Tipe Radius Cut*



*Gambar 3.6 Dimensi Balok Reduced Beam Section Tipe Radius Cut*

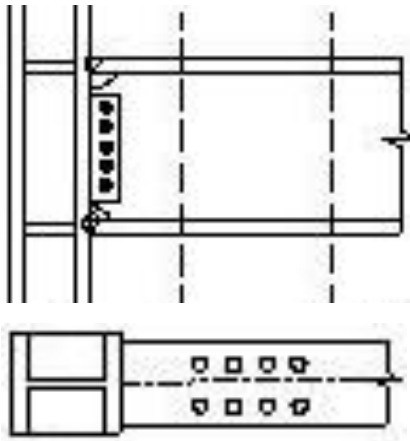
Berikut adalah ketentuan dimensi menurut FEMA 350 untuk Balok Reduced Beam Section tipe Radius Cut:

*Tabel 3.3 Batasan Dimensi Balok RBS Radius Cut Menurut FEMA 350*

<b>FEMA 350</b>
$a = 0.50 - 0.75 b_f$
$b = 0.65 - 0.85 d_b$
$c \leq 0.25 b_f$
$s = a + b/2$
$r = (4c^2 + b^2) / 8c$

### 3.2.3.4 Tipe Drilled Flanges RBS

Balok Reduced Beam Section tipe ini berbeda dengan ketiga tipe RBS sebelumnya. Pada tipe ini pengurangan flens balok berbentuk lubang-lubang pada flens nya. Bentuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.7:



*Gambar 3.7 Balok Reduced Beam Section Tipe Drilled Flanges*

### 3.2.4 Kontrol Desain

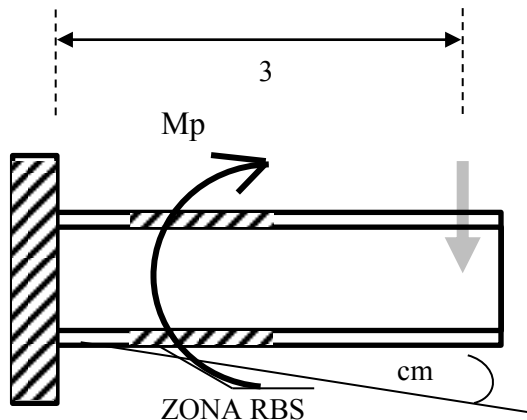
Setelah mendesain balok RBS sesuai dengan FEMA 350, kemudian dilakukan kontrol desain. Kontrol desain dilakukan agar model keempat tipe balok memenuhi kelayakan sebuah hubungan balok kolom. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, kontrol yang dilakukan meliputi:

1. Desain Welded Connection
2. Panel Zone
3. Konsep Strong Column Weak Beam

### 3.2.5 Pembebanan

Pada pengerjaan tugas akhir ini, akan dilakukan pembebanan dengan metode displacement. Dilakukan pembebanan dengan metode displacement dikarenakan menyesuaikan dengan program yang digunakan.

1. Pembebanan Displacement



*Gambar 3.8 Pemodelan Pembebanan Displacement*

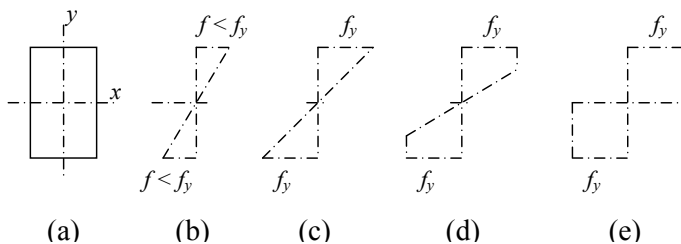
Pembebanan dilakukan dengan metode pembebanan displacement. Pemodelan seperti pada gambar 3.4, dimodelkan pada kedua ujung kolom dianalogikan sebagai tumpuan sendi. Pembebanan displacement dilakukan dengan metode trial and error untuk mendapatkan sendi plastis di zona reduced beam section (RBS). Pembebanan displacement dilakukan pada simpangan 1mm hingga 15mm, dengan interval tiap 1mm.

### 3.2.6 Analisa Perilaku Model dengan Abaqus

Dalam analisa perilaku struktur ini (momen, tegangan tekan dan tegangan tarik) akan dilakukan sebuah desain pemodelan menggunakan program bantu finite element yaitu ABAQUS v.6.13.

### 3.2.7 Analisa Hasil dan Perbandingan

Setelah mendapatkan hasil dari abaqus, kemudian dilakukan analisa terhadap balok RBS. Tegangan tarik dan tegangan tekan yang terjadi kemudian dikalikan dengan  $S_x$  dari balok RBS untuk mendapatkan momen yang akan dijadikan perbandingan dari ke-empat balok RBS.



*Gambar 3.9 Karakteristik Tegangan Pada Baja Ketika Dikenai Beban*

Pada Gambar 3.9, dapat dilihat ketika sebuah penampang baja dikenai beban, maka baja tersebut akan mengalami tegangan sebesar  $f_s$ . Ketika dibebani secara terus menerus, maka baja akan

mengalami batas plastisnya ( $f_y$ ) sesuai Gambar 3.9 (e). Analisa juga akan menggunakan M- $\phi$  diagram untuk menentukan balok RBS terbaik.

## **BAB IV PERHITUNGAN**

### **4.1 Perhitungan Kapasitas Balok Reduced Beam Section**

Perhitungan Kapasitas tiap tipe balok reduced beam section didasarkan pada luasan terkurangi melintangnya sebesar 50%. Oleh karena dasar tersebut, maka didapatkan kapasitas yang beragam dari tiap tipe balok RBS. Berikut dijelaskan perhitungan keempat tipe tersebut hingga didapatkan kapasitas yang sesuai dengan ketentuan. Pada pengerjaan Tugas Akhir ini menggunakan kolom WF dengan dimensi 400x400x16x24 dan balok WF dengan dimensi 500x200x10x16 dengan karakteristik sebagai berikut:

Kolom WF 400x400x16x24

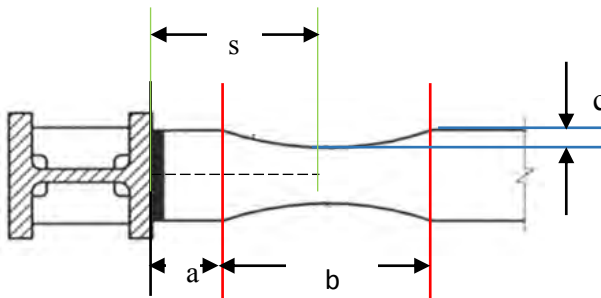
$t_w = 16 \text{ mm}$	$S_x = 3840 \text{ cm}^3$
$t_f = 24 \text{ mm}$	$S_y = 1300 \text{ cm}^3$
$b_f = 403 \text{ mm}$	$Z_x = 4207 \text{ cm}^3$
$i_x = 17,5 \text{ cm}$	$Z_y = 1972 \text{ cm}^3$
$i_y = 10,1 \text{ cm}$	$r = 22 \text{ mm}$
$I_x = 78000 \text{ cm}^4$	$d = 406 \text{ mm}$
$I_y = 26200 \text{ cm}^4$	$A = 254,9 \text{ cm}^2$



Balok WF 500x200x10x16

$t_w$	$= 10 \text{ mm}$	$S_x$	$= 1910 \text{ cm}^3$
$t_f$	$= 16 \text{ mm}$	$S_y$	$= 214 \text{ cm}^3$
$b_f$	$= 200 \text{ mm}$	$Z_x$	$= 2096 \text{ cm}^3$
$i_x$	$= 20,5 \text{ cm}$	$Z_y$	$= 332 \text{ cm}^3$
$i_y$	$= 4,33 \text{ cm}$	$r$	$= 20 \text{ mm}$
$I_x$	$= 47800 \text{ cm}^4$	$d$	$= 500 \text{ mm}$
$I_y$	$= 2140 \text{ cm}^4$	$A$	$= 114,2 \text{ cm}^2$

#### 4.1.1 Balok Reduced Beam Section Tipe Radius Cut



*Gambar 4.1 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS Tipe Radius Cut*

Untuk menentukan kapasitas balok RBS tipe radius cut, ketentuan mengenai panjang pengurangan maupun panjang zona RBS sudah ditentukan dalam FEMA 350 yang dapat dilihat pada tabel 4.1:

*Tabel 4.1 Ketentuan Kapasitas Balok RBS Tipe Radius Cut  
Sesuai FEMA 350*

<b>FEMA 350</b>
$a = 0.50 - 0.75 b_f$
$b = 0.65 - 0.85 d_b$
$c \leq 0.25 b_f$
$s = a + b/2$
$r = (4c^2 + b^2) / 8c$

Dengan ketentuan seperti pada Tabel 4.1, maka kapasitas balok RBS tipe radius cut dapat dihitung seperti berikut:

$$a = 0,6 b_f$$

$$= 0,6 (200 \text{ mm})$$

$$= 120 \text{ mm}$$

$$c = 0,25 b_f$$

$$= 0,25 (200 \text{ mm})$$

$$= 50 \text{ mm}$$

$$b = 0,8 d_b$$

$$= 0,8 (500 \text{ mm})$$

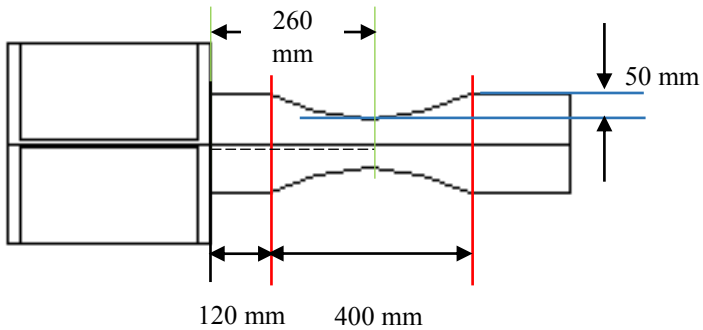
$$= 400 \text{ mm}$$

$$s = a + b/2$$

$$= (120 + 400)/2$$

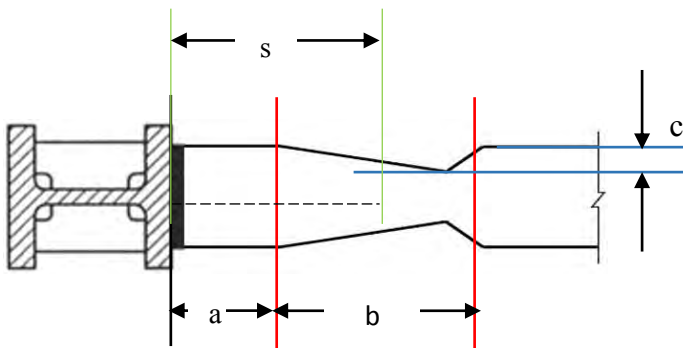
$$= 260 \text{ mm}$$

Sehingga kapasitas balok RBS tipe radius cut dapat dilihat pada Gambar 4.2:



*Gambar 4.2 Dimensi Pemodelan Balok RBS Tipe Radius Cut*

#### 4.1.2 Balok Reduced Beam Section Tipe Tapered Cut

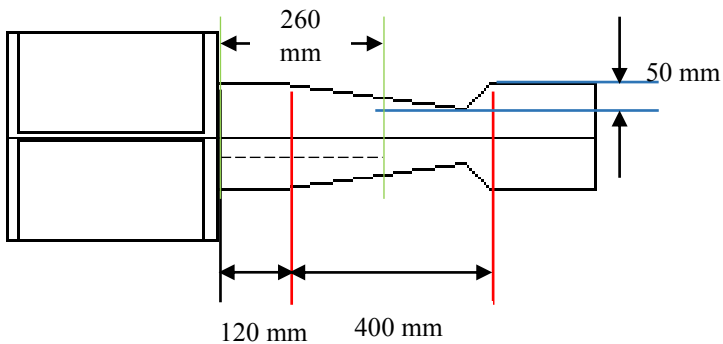


*Gambar 4.3 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS Tipe Tapered Cut*

Untuk menentukan kapasitas balok RBS tipe tapered cut, maka kapasitas balok dapat dihitung seperti berikut:

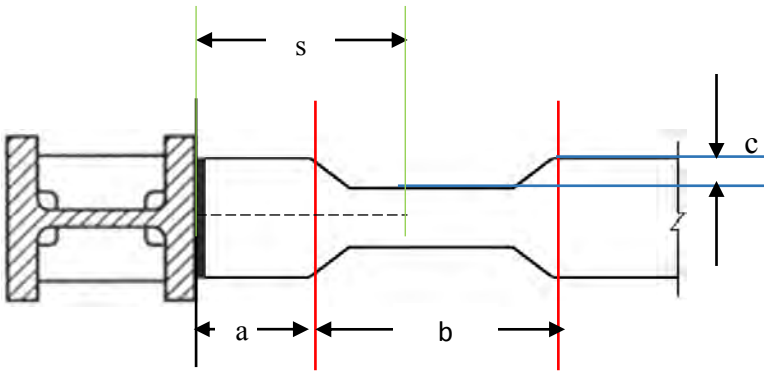
$a$	$= 0,6 b_f$	$b$	$= 0,8 d_b$
	$= 0,6 (200 \text{ mm})$		$= 0,8 (500 \text{ mm})$
	$= 120 \text{ mm}$		$= 400 \text{ mm}$
$c$	$= 0,25 b_f$	$s$	$= a+b/2$
	$= 0,25 (200 \text{ mm})$		$= (120+400)/2$
	$= 50 \text{ mm}$		$= 260 \text{ mm}$

Sehingga kapasitas balok RBS tipe tapered cut dapat dilihat pada Gambar 4.4:



*Gambar 4.4 Dimensi Pemodelan Balok RBS Tipe Tapered Cut*

### 4.1.3 Balok Reduced Beam Section Tipe Straight Cut

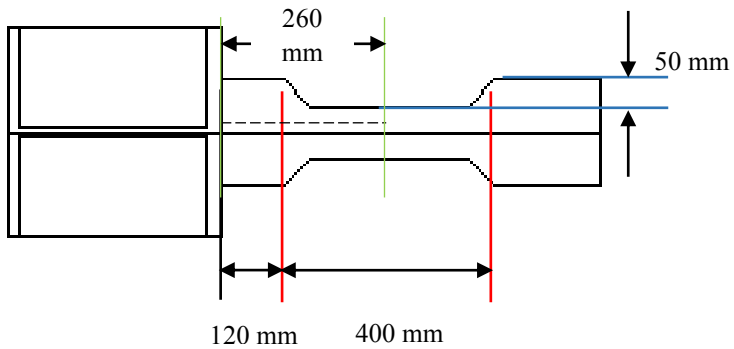


*Gambar 4.5 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS Tipe Straight Cut*

Untuk menentukan kapasitas balok RBS tipe straight cut, maka kapasitas balok dapat dihitung seperti berikut:

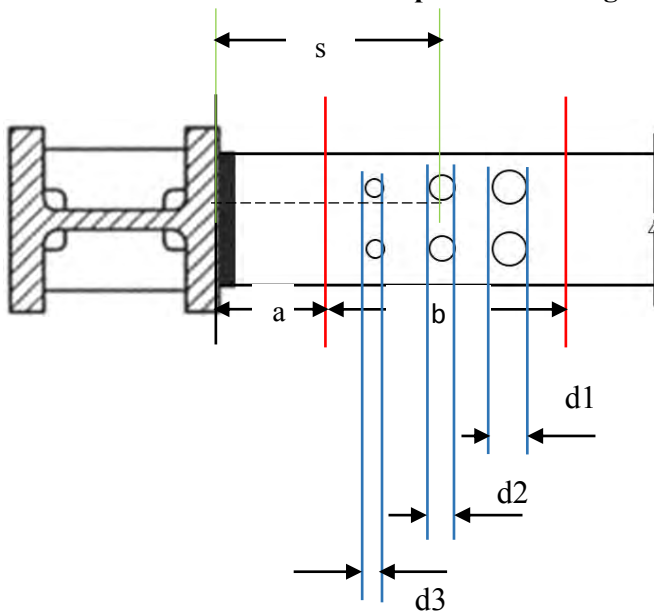
$a$	$= 0,6 b_f$	$b$	$= 0,8 d_b$
	$= 0,6 (200 \text{ mm})$		$= 0,8 (500 \text{ mm})$
	$= 120 \text{ mm}$		$= 400 \text{ mm}$
$c$	$= 0,25 b_f$	$s$	$= a+b/2$
	$= 0,25 (200 \text{ mm})$		$= (120+400)/2$
	$= 50 \text{ mm}$		$= 260 \text{ mm}$

Sehingga kapasitas balok RBS tipe straight cut dapat dilihat pada Gambar 4.6:



*Gambar 4.6 Dimensi Pemodelan Balok RBS Tipe Straight Cut*

#### 4.1.4 Balok Reduced Beam Section Tipe Drilled Flanges



*Gambar 4.7 Notasi Pada Perhitungan Pemodelan Balok RBS Tipe Drilled Flanges*

Untuk menentukan kapasitas balok RBS tipe drilled flanges, maka kapasitas balok dapat dihitung seperti berikut:

$a$	$= 0,6 b_f$	$b$	$= 0,8 d_b$
	$= 0,6 (200 \text{ mm})$		$= 0,8 (500 \text{ mm})$
	$= 120 \text{ mm}$		$= 400 \text{ mm}$
$d1$	$= 0,25 b_f$	$s$	$= a+b/2$
	$= 0,25 (200 \text{ mm})$		$= (120+400)/2$
	$= 50 \text{ mm}$		$= 260 \text{ mm}$
$d2$	$= 0,2 b_f$	$d3$	$= 0,15 b_f$
	$= 0,2 (200 \text{ mm})$		$= 0,15 (200 \text{ mm})$
	$= 40 \text{ mm}$		$= 30 \text{ mm}$

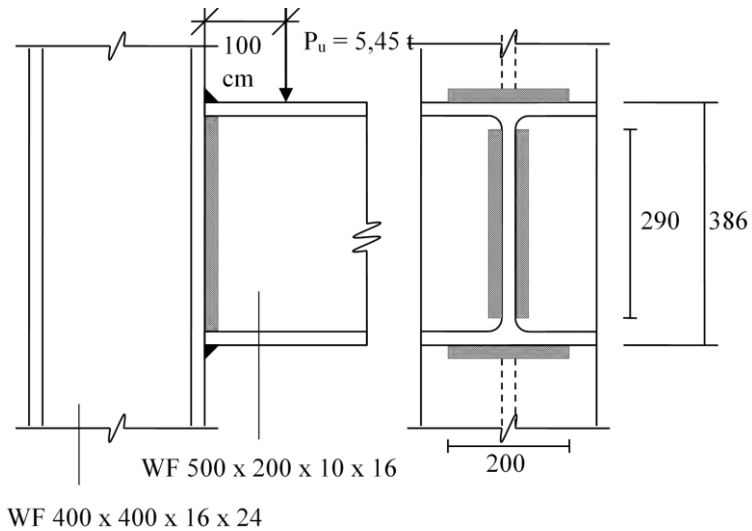
Sehingga kapasitas balok RBS tipe drilled flanges dapat dilihat pada Gambar 4.8:





## 4.2 Desain Welded Connection, Panel Zone, dan Kontrol Strong Column Weak Beam

### 4.2.1 Desain Welded Connection



*Gambar 4.9 Desain Welded Connection*

– Propil BJ 41, Las F<sub>E70xx</sub>

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{E70XX} = 4921 \text{ kg/cm}^2$$

Berapa tebal kaki las (a)

Syarat tebal las :  $a_{min} = 6 \text{ mm}$

$$a_{efmaks} = 0,707 \frac{f_u}{f_{E70xx}} \cdot t_w = 0,707 \frac{4100}{70 \times 70,3} \times 10 = 5,89 \text{ mm}$$

(las di badan)

$$a_{efmaks\ 2} = 1,41 \frac{f_u}{f_{E70xx}} \cdot t_5 = 1,41 \frac{4100}{70 \times 70,3} \times 16 = 18,796 \text{ mm}$$

(las di flens)

Digunakan tebal las pada badan : 6 mm

Digunakan tebal las pada flens : 10 mm

$$\begin{aligned} A_{\text{badan}} &= 0,6 \text{ cm} \times (2 \times (d - 2t_f)) \\ &= 0,6 \times (2 \times (46,8)) \\ &= 56,16 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{flens}} &= 1 \text{ cm} \times (2 \times b_f) \\ &= 1 \times (2 \times 20) \\ &= 40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= A_{\text{badan}} + A_{\text{flens}} \\ &= 56,16 + 40 \\ &= 96,16 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Inersia las

$$I_p = 2 \left[ \frac{1}{12} (1) 29^3 + (1) 20 \times \left( \frac{38,6}{2} \right)^2 \right] = 18964 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{y_{\text{max}}} = \frac{36.263,66}{19,3} = 982,59 \text{ cm}^3$$

$$\text{Akibat } P_u : \rightarrow f_v = \frac{P_u}{A} = \frac{30000}{98} = 306 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Akibat } M_u = P_u \times e = 30000 \times 12 = 360000 \text{ kg cm}$$

$$f_h = \frac{M_u}{S_x} = \frac{360000}{982,59} = 366 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{f_v^2 + f_h^2} = 477,36 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_{e \text{ perlu}} = \frac{f_{total}}{\phi f_n} = \frac{477,36}{0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3} = 0,216 \text{ cm}$$

$$a_{perlu} = \frac{t_e}{0,707} = 0,30 \text{ mm} < a_{ef maks badan}$$

dipakai  $a = 5 \text{ mm}$

#### 4.2.2 Desain Panel Zone

a. Hitung gaya geser pada panel zone (Dari kapasitas balok)

Diketahui:

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_y = 1,5 \text{ (BJ41)}$$

Balok WF 500x200x10x16

tw	= 10 mm	Sx	= 1910 cm <sup>3</sup>
tf	= 16 mm	Sy	= 214 cm <sup>3</sup>
bf	= 200 mm	Zx	= 2096 cm <sup>3</sup>
ix	= 20,5 cm	Zy	= 332 cm <sup>3</sup>
iy	= 4,33 cm	r	= 20 mm
Ix	= 47800 cm <sup>4</sup>	d	= 500 mm
Iy	= 2140 cm <sup>4</sup>	A	= 114,2 cm <sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 M_p \text{ balok biasa} &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 2096 \cdot 2500 \\
 &= 5.240.000 \text{ kgcm} \\
 &= 52,4 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_p \text{ balok RBS} &= 1,1 \cdot R_y \cdot Z_{\text{RBS}} \cdot f_y \\
 &= 1,1 \cdot 1,5 \cdot 1321,96 \cdot 2500 \\
 &= 5.453.085 \text{ kgcm} \\
 &= 54,5 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

Digunakan  $M_p$  terbesar, yaitu  $M_p$  RBS sebesar 5.453.085 kgcm

$$\begin{aligned}
 M_u &= 0,8 \sum R_y M_p \\
 &= 0,8 \times 1 \times 1,5 \times 5.453.085 \\
 &= 7.198.072 \text{ kgcm} \\
 &= 71,98 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{col} &= \frac{0,8 \sum R_y M_p}{\sum h} \\
 &= \frac{2 \times 71,98}{2 \times 2} \\
 &= 35,99 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_b = C_b &= \frac{0,8 \sum R_y M_p}{d - t_f} \\
 &= \frac{1 \times 71,98}{(0,5 - 0,016)} \\
 &= 148,72 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ju} &= T_{b,ka} + C_{b,ki} - V_{col} \\
 &= 148,72 + 0 - 35,99 \\
 &= 112,73 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

c. Hitung kekuatan geser panel zone (asumsi  $N_u < 0,75 N_y$ )

Dimana:

$$\begin{aligned}
 t_p &= 2,4 \text{ cm} & d_c &= 40,6 \text{ cm} \\
 b_{cf} &= 20 \text{ cm} & t_{cf} &= 2,4 \text{ cm} \\
 d_b &= 50 \text{ cm} & f_y &= 2500 \text{ kg/cm}^2 \\
 \phi_v &= 0,75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_v V_n &= 0,6 \times 0,75 \times 2500 \times 40,6 \times 2,4 \times \left[ 1 + \frac{3 \times 20 \times (2,4)^2}{50 \times 40,6 \times 2,4} \right] \\
 &= 117.396 \text{ kg} \\
 &= 117,396 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

d. Kontrol panel zone terhadap kekuatan

- Terhadap kekuatannya

$V_{ju} = 112,73 \text{ ton} > \phi_v V_n = 117,396 \text{ ton} \rightarrow$  Tidak butuh panel zone.

#### 4.2.3 Kontrol konsep *Strong Column Weak Beam*

Berdasarkan SNI-03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Pasal 15.7.6:

a. Menghitung  $M_{pc}^*$  (Kolom WF 400x400x16x24)

$$Z_c = 4207 \text{ kg/cm}^2 \quad f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

Asumsi  $N_{uc} = 0$  (diabaikan)

$$\begin{aligned} \sum M_{pc}^* &= \sum Z_c \left( f_{yc} - \frac{N_{uc}}{A_g} \right) \\ &= 2 \times (4207 \times 2500) \\ &= 21.035.000 \text{ kgcm} \\ &= 210,35 \text{ tm} \end{aligned}$$

b. Menghitung  $M_{pb}^*$  (Balok WF 500x200x10x16)

$$Z_b = 2096 \text{ kg/cm}^2 \quad f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$R_y = 1,5$  untuk BJ 41 Nilai  $M_y = 0$  (diabaikan)

$$\sum M_{pb}^* = \sum (1,1 R_y f_y Z + M_y)$$

$$= 1,1 \times 1,5 \times 2500 \times 2096$$

$$= 8.646.000 \text{ kgcm}$$

$$= 86,46 \text{ tm}$$

c. Syarat Konsep *Strong Column Weak Beam*

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} = \frac{210,35}{86,46} = 2,43$$

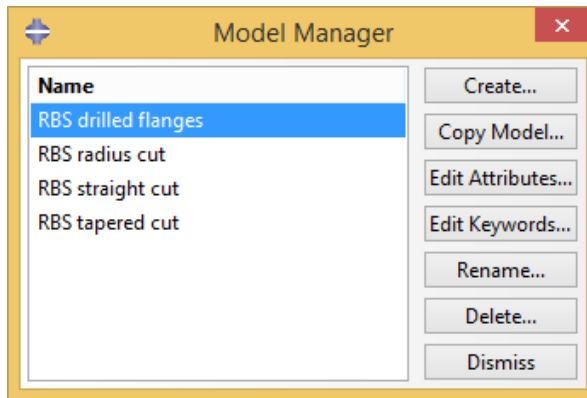
(Persyaratan Konsep *Strong Column Weak Beam* terpenuhi)

### 4.3 Tahapan Pengerjaan Model Dengan Program Abaqus 6.13

Pada pengerjaan pemodelan menggunakan program abaqus, digunakan acuan satuan berat kilogram (kg) dan satuan panjang centimeter (cm). Berikut ini uraian penjelasan mengenai pengerjaan yang dilakukan pada program Abaqus 6.13:

#### 1. Model

Sebelum memulai pengerjaan pemodelan, dilakukan setting untuk menentukan jumlah model yang akan dibuat. Pada Tugas Akhir ini akan membandingkan 4 tipe balok RBS, sehingga terdapat 4 model dalam 1 file abaqus. Model-model tersebut dinamai dengan “RBS drilled flanges”, “RBS radius cut”, “RBS straight cut”, dan “RBS tapered cut”, yang dapat dilihat pada Gambar 4.10:



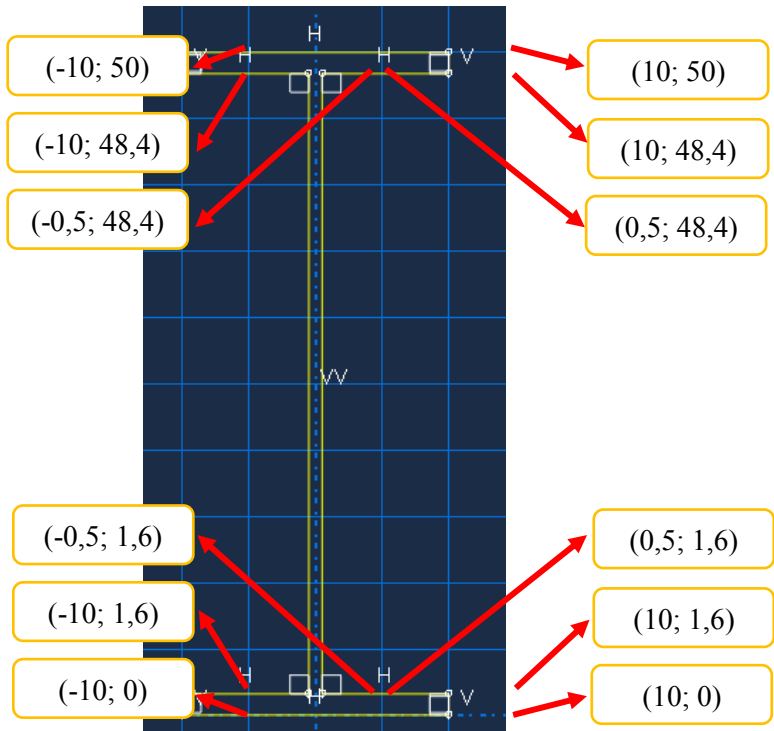
*Gambar 4.10 Tampilan Model Manager*

#### 2. Modul Part

Pada bagian Part, akan digambar bentuk pemodelan yang diinginkan. Di tiap model akan digambar balok WF dan bentuk yang nantinya akan digunakan untuk melubangi flens pada tahap *Assembly*. Metode untuk menggambar pada modul part



menggunakan koordinat  $(x;y)$ . Pada pembuatan profil WF, dikarenakan keempat tipe RBS menggunakan profil dengan dimensi yang sama, sehingga koordinat yang akan diinput sama pada keempat tipe balok RBS. Koordinat pemodelan balok WF dapat dilihat pada Gambar 4.11:



*Gambar 4.11 Pemodelan Balok WF dengan Koordinat*

Kemudian untuk bentuk yang akan digunakan untuk melubangi flens profil disesuaikan dengan dimensi yang dibutuhkan untuk masing-masing tipe. Pada balok RBS drilled flanges, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat lubang pada flens:

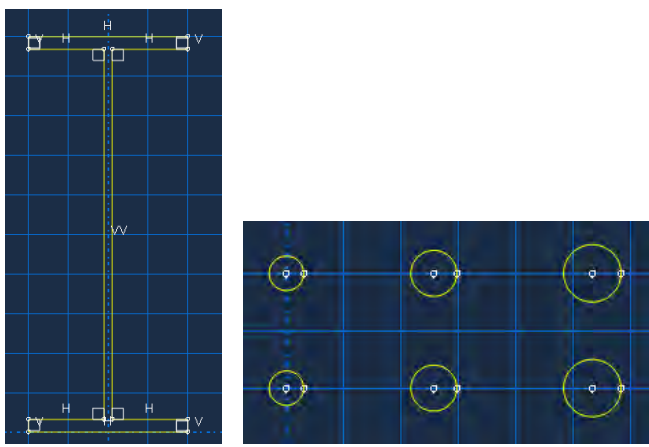
- Klik perintah *Create Part*
- Klik perintah *Create Circle: Center and Perimeter*
- Masukkan koordinat drilled flanges sesuai Tabel 4.2:

*Tabel 4.2 Koordinat RBS Drilled Flanges Pada Program Abaqus*

No	Diameter Lubang Drilled Flanges	Koordinat	
		Flens Kanan	Flens Kiri
1.	Lubang $\phi$ 30 mm	Center: (0,5) Perimeter: (1,5;5)	Center: (0,15) Perimeter: (1,5;15)
2.	Lubang $\phi$ 40 mm	Center: (12,83;5) Perimeter: (14,83;5)	Center: (12,83;15) Perimeter: (14,83;15)
3.	Lubang $\phi$ 50 mm	Center: (26,63;5) Perimeter: (29,13;5)	Center: (26,63;15) Perimeter: (29,13;15)

- Klik Done dibagian bawah
- Masukkan nilai 50 (cm) untuk depth.

Sehingga tahapan pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.12:



Gambar 4.12 Tampilan Part Untuk Balok RBS Drilled Flanges

Pada balok RBS radius cut, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat lubang pada flens:

- Klik perintah *Create Part*
- Klik perintah *Create Arc: Thru 3 points*
- Masukkan koordinat radius cut sesuai Tabel 4.3:

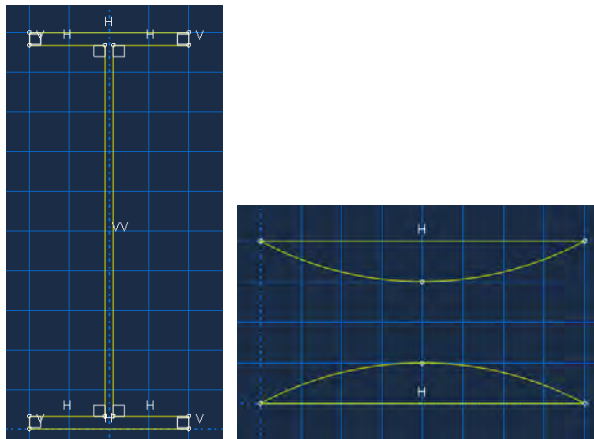
Tabel 4.3 Koordinat RBS Radius Cut Pada Program Abaqus

No	Titik Pada <i>Arc: Thru 3 points</i>	Koordinat	
		Flens Kanan	Flens Kiri
1.	Titik 1	(0;0)	(0;20)
2.	Titik 2	(40;0)	(40;20)
3.	Titik 3	(20;5)	(20;15)

- Klik Done dibagian bawah.
- Masukkan nilai 50 (cm) untuk depth.

Setelah terbentuk radius nya, kemudian hubungkan titik pertama dan kedua dengan *Create Lines: Connected*.

Sehingga tahapan pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.13:



*Gambar 4.13 Tampilan Part Untuk Balok RBS Radius Cut*

Pada balok RBS straight cut, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat lubang pada flens:

- Klik perintah *Create Part*
- Klik perintah *Create Lines: Connected*
- Masukkan koordinat straight cut sesuai Tabel 4.4:

*Tabel 4.4 Koordinat RBS Straight Cut Pada Program Abaqus*

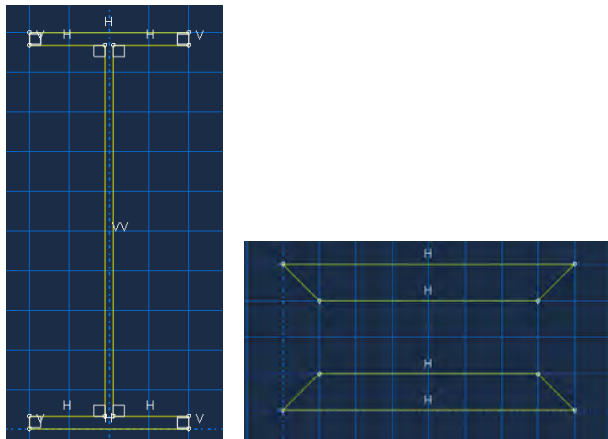
No	Titik Pada <i>Lines: Connected</i>	Koordinat	
		Flens Kanan	Flens Kiri
1.	Titik 1	(0;0)	(0;20)
2.	Titik 2	(5;5)	(5;15)

3.	Titik 3	(35;5)	(35;15)
4.	Titik 4	(40;0)	(40;20)

- Klik Done dibagian bawah
- Masukkan nilai 50 (cm) untuk depth.

Setelah terbentuk garis lekukan nya, kemudian hubungkan titik pertama dan terakhir dengan *Create Lines: Connected*.

Sehingga tahapan pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.14:



Gambar 4.14 Tampilan Part Untuk Balok RBS Straight Cut

Pada balok RBS tapered cut, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat lubang pada flens:

- Klik perintah *Create Part*
- Klik perintah *Create Lines: Connected*
- Masukkan koordinat drilled flanges sesuai Tabel 4.5:

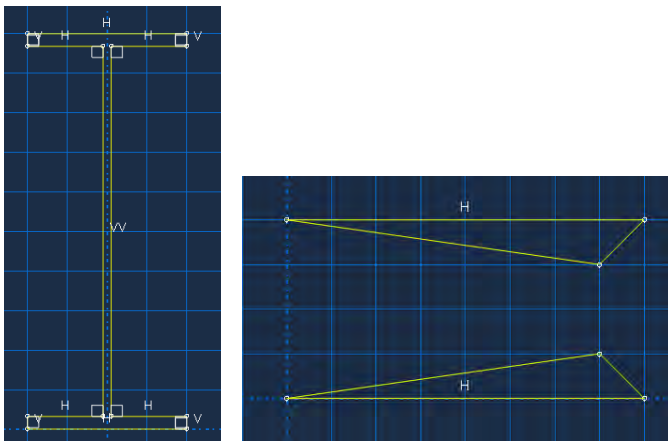
*Tabel 4.5 Koordinat RBS Tapered Cut Pada Program Abaqus*

No	Titik Pada <i>Lines:</i> <i>Connected</i>	Koordinat	
		Flens Kanan	Flens Kiri
1.	Titik 1	(0;0)	(0;20)
2.	Titik 2	(35;5)	(35;15)
3.	Titik 3	(40;0)	(40;20)

- Klik Done dibagian bawah
- Masukkan nilai 50 (cm) untuk depth.

Sehingga tahapan pemodelan dapat dilihat pada Gambar

4.15:



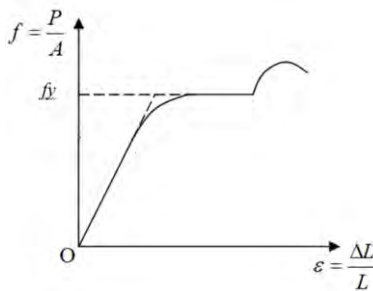
*Gambar 4.15 Tampilan Part Untuk Balok RBS Tapered Cut*

### 3. Modul Property

Pada modul ini dilakukan pemberian identitas material yang akan digunakan. Pada tugas akhir ini digunakan material

baja BJ41. Ada 3 karakteristik baja yang diinput pada abaqus. Yaitu Density, Elastic, dan Plastic.

- *Density*. Baja memiliki berat jenis sebesar  $7800 \text{ kg/cm}^3$ .
- *Elastic*. Ada dua input yang harus dimasukkan. Baja memiliki Young's Modulus sebesar  $2.100.000 \text{ kg/cm}^2$ , dan memiliki poisson's ratio sebesar 0,3.
- *Plastic*. Input pada bagian ini mengacu pada grafik tegangan-regangan yang dimiliki baja. Dikarenakan yang dibutuhkan hanya mencapai keadaan plastisnya, maka input Yield Stress hanya sebesar  $2500 \text{ kg/cm}^2$  (baja BJ41). Sedangkan Plastic Strain diisi dengan selisih dari regangan yang terjadi dengan regangan awal. Berikut adalah grafik tegangan-regangan baja BJ41:



Gambar 4.16 Grafik Tegangan-Regangan Baja

Pada Gambar 4.16, nilai dari  $\epsilon_s$  adalah pembagian dari tegangan leleh baja BJ41 ( $f_y$ ) dan modulus Elastisitas. Sedangkan  $\epsilon_{sh}$  adalah sebesar 0,3 nilai dari  $\epsilon_s$ . Sehingga tegangan dan regangan dapat dilihat pada Tabel 4.6:

*Tabel 4.6 Tegangan-Regangan Baja BJ41*

No	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Regangan
1.	0	0
2.	2500	0,00119
3.	2500	0,0187
4.	2500	0,0411

Sehingga tampilan property plastic pada program abaqus dapat dilihat pada Gambar 4.17:

	Yield Stress	Plastic Strain
1	2500	0
2	2500	0.0175
3	2500	0.04

*Gambar 4.17 Tampilan Property Plastic Pada Program Abaqus*

Setelah selesai menginput identitas material, kemudian meletakkan material pada part yang diinginkan. Step-step nya adalah sebagai berikut:

- Klik *Create Section* pada toolbox untuk membuat section baru. Karena ada 3 part, maka dibuat 3 section. Pilih material “Baja BJ41”.
- Klik *Assign Section* untuk mengidentifikasi setiap part pada section-section yang telah ditentukan dengan cara mengeblok part tersebut.

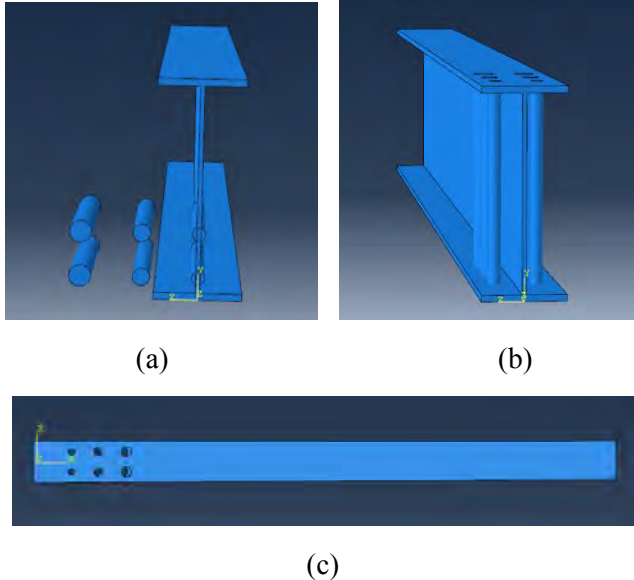
#### 4. Modul Assembly

Seperti yang sudah dijelaskan pada bagian *Part*, pada bagian ini akan dilakukan pengurangan luasan flens yang bertujuan membentuk balok Reduced Beam Section. Untuk



melakukan penguran luasan flens, dilakukan dengan perintah *Merge/Cut*.

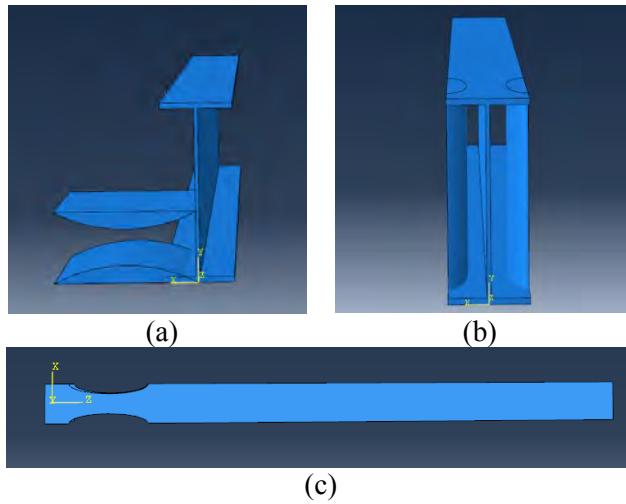
Proses Assembly pada balok RBS drilled flanges:



*Gambar 4.18 Proses Assembly Balok RBS Drilled Flanges*

Penjelasan Gambar 4.18, (a) Part-part pada balok RBS drilled flanges dikeluarkan (b) Part-part diletakkan pada posisi yang ditentukan (c) Balok RBS drilled flanges setelah dilakukan merge.

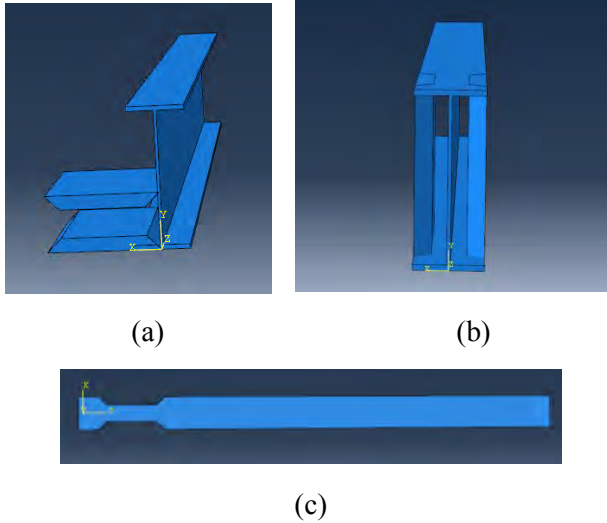
Proses Assembly pada balok RBS radius cut:



*Gambar 4.19 Proses Assembly Balok RBS Radius Cut*

Penjelasan Gambar 4.19, (a) Part-part pada balok RBS radius cut dikeluarkan (b) Part-part diletakkan pada posisi yang ditentukan (c) Balok RBS radius cut setelah dilakukan merge.

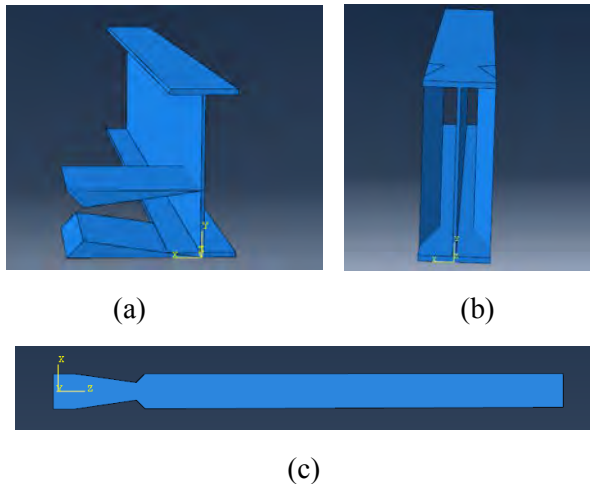
Proses Assembly pada balok RBS straight cut:



*Gambar 4.20 Proses Assembly Balok RBS Straight Cut*

Penjelasan Gambar 4.20, (a) Part-part pada balok RBS straight cut dikeluarkan (b) Part-part diletakkan pada posisi yang ditentukan (c) Balok RBS straight cut setelah dilakukan merge.

Proses Assembly pada balok RBS tapered cut:



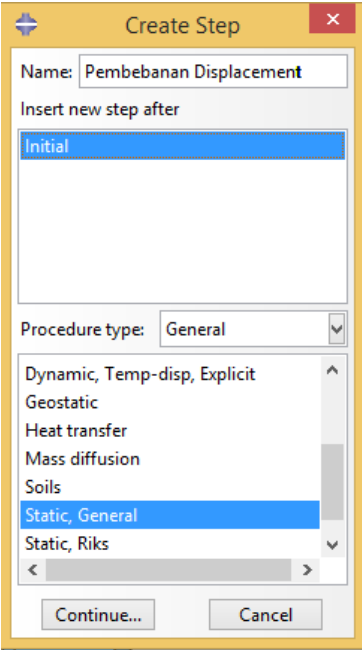
*Gambar 4.21 Proses Assembly Balok RBS Tapered Cut*

Penjelasan Gambar 4.21, (a) Part-part pada balok RBS tapered cut dikeluarkan (b) Part-part diletakkan pada posisi yang ditentukan (c) Balok RBS tapered cut setelah dilakukan merge.

#### 5. Modul Step

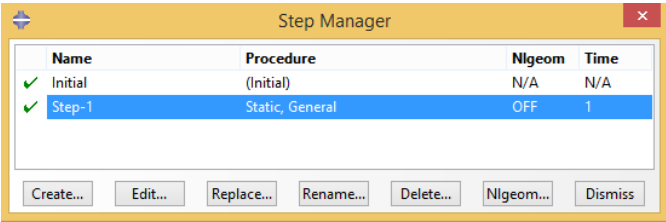
Modul Step digunakan untuk menentukan tahapan pengerjaan yang akan dilakukan. Berikut tahapan pengerjaannya:

- Klik *Create Step*
- Pada dialog box yang muncul, beri nama “Pembebanan Displacement” pada kolom Name, kemudian pilih “General” dengan pilihan “Static, General” untuk Procedure type nya. Tampilannya
- dapat dilihat pada Gambar 4.22



Gambar 4.22 Create Step Pada Modul Step

Pada Tugas Akhir ini dilakukan 1 step pembebanan di tiap tipe balok RBS, sehingga input step hanya berupa *Initial* dan *Step-1*. Seperti pada Gambar 4.23:

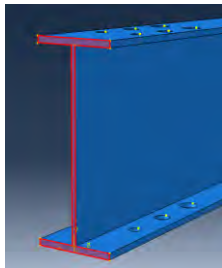


Gambar 4.23 Step Manager Pemodelan

## 6. Modul Load

Pada tahap ini dilakukan input untuk definisi perletakan dan definisi beban. Untuk melakukan input perletakan model, step-step nya adalah sebagai berikut:

- Klik *Create Boundary Condition* pada Toolbox Area.
- Pada Step Initial, pilih Tipe *Symmetry/Antisymmetry/Encastre*, kemudian klik Continue.
- Pilih area yang akan dijadikan perletakan, dalam hal ini perletakan sendi, yang dapat dilihat pada Gambar 4.24:



Gambar 4.24 Area Perletakan Sendi (Highlight Merah)

- Setelah memilih area yang akan dijadikan perletakan, kemudian akan muncul dialog box “Edit Boundary Condition” untuk menentukan jenis perletakan apa yang akan digunakan. Pilih ENCASTRE ( $U1=U2=U3 = UR1=UR2=UR3=0$ ) untuk menjadikan perletakan jepit.

Setelah menentukan perletakan, langkah selanjutnya menentukan beban. Step-step nya sebagai berikut:

- Klik *Create Boundary Condition* pada Toolbox Area.
- Pada Step-1, pilih Tipe *Displacement/Rotation* dikarenakan pembebanan akan dilakukan dengan displacement. kemudian klik Continue.
- Pilih area yang akan dijadikan area pembebanan, yang dapat dilihat pada Gambar 4.25:



*Gambar 4.25 Area Pembebanan Displacement (Highlight Merah)*

- Setelah menentukan area pembebanan, kemudian menentukan besarnya beban displacement yang akan diinput. Pada Tugas Akhir ini akan dianalisa perilaku ketika diberi beban 1 mm hingga 10 mm.

**Edit Boundary Condition**

Name: BC-2

Type: Displacement/Rotation

Step: Step-1 (Static, General)

Region: Set-10

CSYS: (Global)

Distribution: Uniform  $f(x)$

☐ U1:

☒ U2:

☐ U3:

☐ UR1:  radians

☐ UR2:  radians

☐ UR3:  radians

Amplitude: (Ramp)  $f(t)$

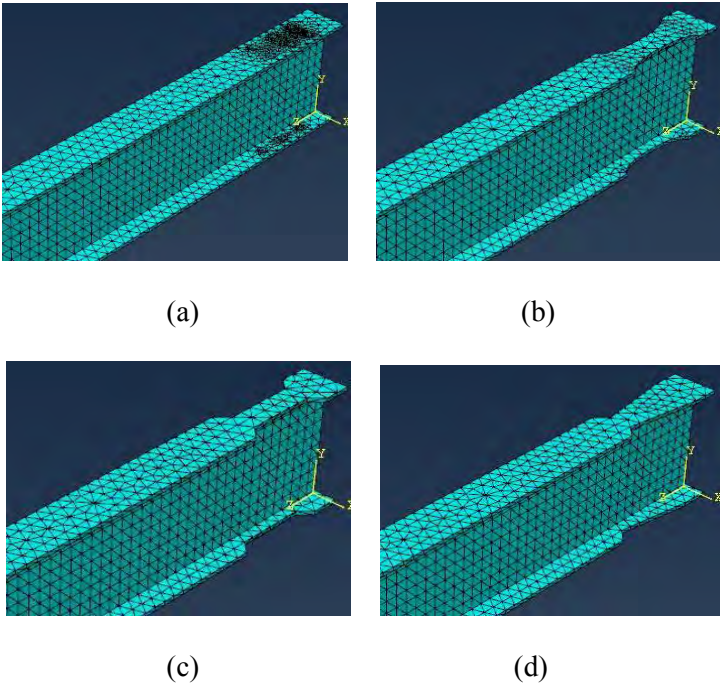
**Note:** The displacement value will be maintained in subsequent steps.

OK Cancel

*Gambar 4.26 Input Beban Displacement*

## 7. Modul Mesh

Sebelum memulai proses mesh, perlu dicek apakah seluruh bagian menggunakan *Independent*. Pada Tugas Akhir ini, balok RBS drilled flanges tidak dapat dilakukan mesh dengan cara Hex, sehingga mesh keempat tipe balok RBS dilakukan dengan cara Tet. Keempat tipe balok RBS dilakukan mesh ketelitian ukuran 5 cm. Mesh pemodelan ditunjukkan pada Gambar 4.25:



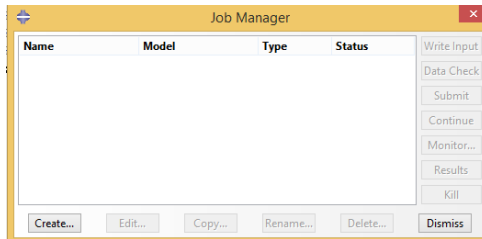
*Gambar 4.27 Mesh Pemodelan (a) Balok RBS drilled flanges, (b) Balok RBS radius cut, (c) Balok RBS straight cut, (d) Balok RBS tapered cut*



## 8. Modul Job

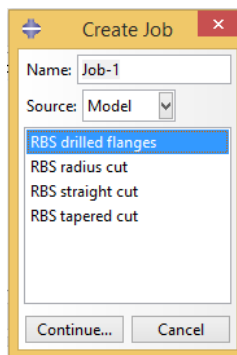
Untuk memulai analisa model terhadap beban yang sudah ditentukan, dilakukan pada tahap ini. Program abaqus tidak running model apabila input yang dimasukkan tidak tepat, maupun beban yang terlalu kecil atau terlalu besar, oleh karenanya perlu diperiksa dengan cermat permasalahan yang ditimbulkan ketika model yang di run terjadi error. Tahap-tahap yang dilakukan pada modul ini adalah sebagai berikut:

- Klik *Create Job* pada toolbox area, kemudian muncul tampilan seperti pada Gambar 4.28:



Gambar 4.28 Job Manager

- Klik *Create...* pada Job Manager



Gambar 4.29 Create Job

- Pada kotak dialog Create Job, klik model yang ingin dilakukan job nya. Pada Job-1, klik pada RBS drilled flanges, kemudian klik *Continue...* . Kemudian lakukan langkah yang sama untuk RBS radius cut pada Job-2, RBS straight cut pada Job-3, dan RBS tapered cut pada Job-4.
- Untuk melaksanakan running model, klik *Submit*. Jika terdapat error, kesalahan dapat dilihat pada *Monitor*, jika tanpa error, hasil dapat dilihat di *Result*.

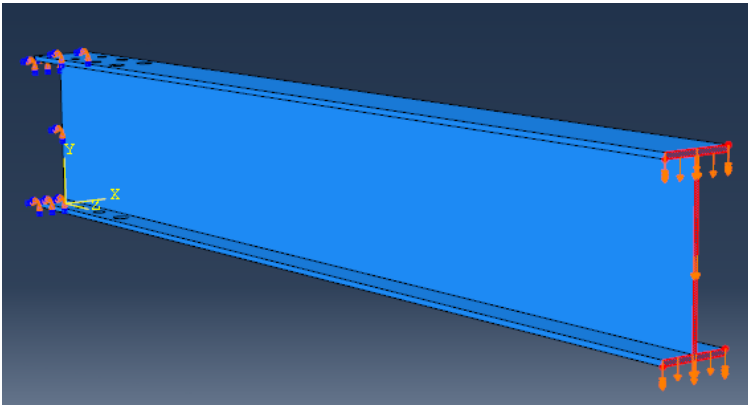
*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## **BAB V**

### **ANALISA HASIL DENGAN PROGRAM ABAQUS**

#### **5.1 Pemodelan Pada Abaqus**

Berikut adalah pemodelan pada program Abaqus v 6.13.

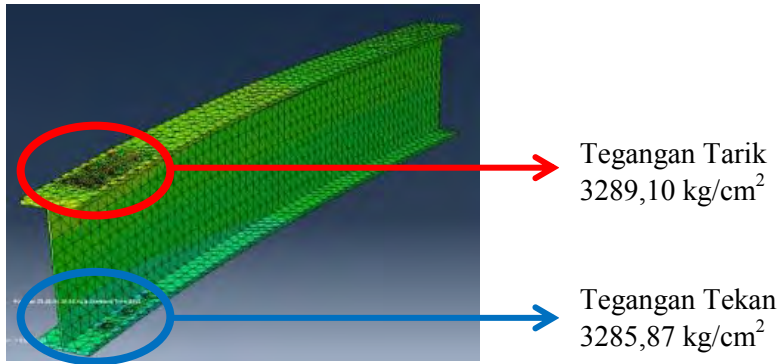


*Gambar 5.1 Pemodelan Pembebanan Pada Program Abaqus v 6.13*

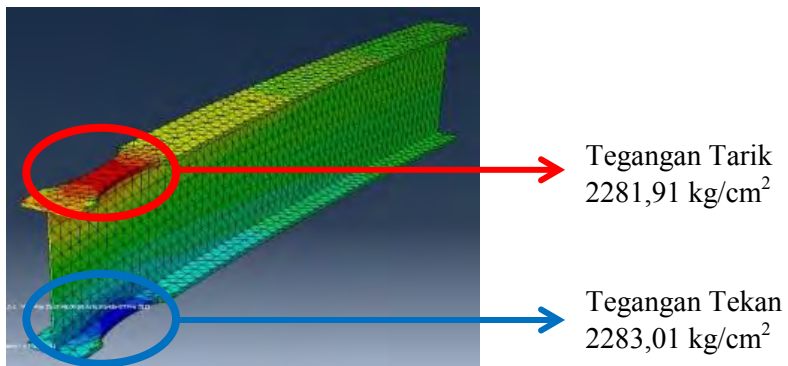
Pemodelan dilakukan dengan program abaqus seperti pada gambar 5.1. Balok WF sepanjang 3 meter, diatur perletakan sendi disalah satu ujung dekat dengan zona RBS, dan diatur pembebanan di ujung yang lain. Pembebanan dilakukan dengan metode non-linier, dimana model akan dibebani suatu beban hingga mencapai batas plastisnya. Pembebanan displacement dilakukan sebesar: 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mm, 6mm, 7mm, 8mm, 9mm, 10mm, 11mm, 12mm, 13mm, 14mm dan 15mm. Pemodelan diterapkan pada semua tipe balok RBS.

## 5.2 Hasil Output Dari Program Abaqus

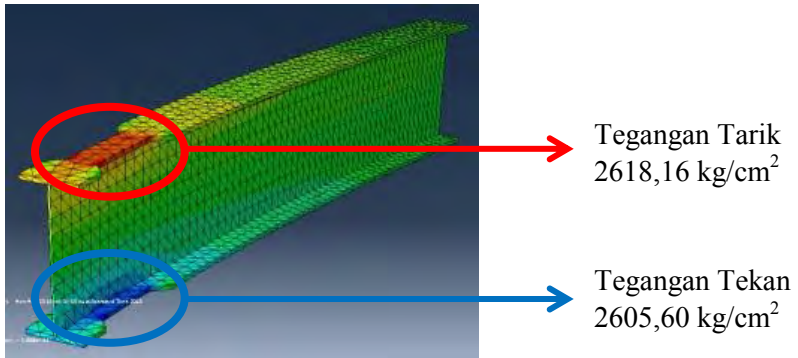
Setelah melakukan analisa dalam program Abaqus v 6.13, berikut adalah gambar dari tiap-tiap balok RBS setelah dilakukan pembebanan displacement pada beban sebesar 10mm:



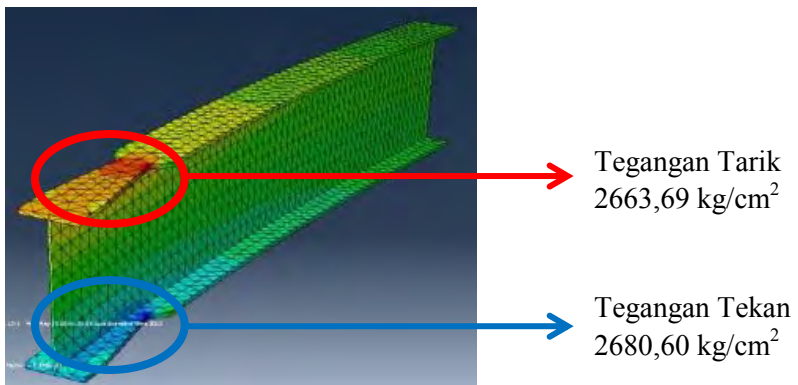
*Gambar 5.2 Hasil S33 Pada Balok RBS Drilled Flanges*



*Gambar 5.3 Hasil S33 Pada Balok RBS Radius Cut*



*Gambar 5.4 Hasil S33 Pada Balok RBS Straight Cut*



*Gambar 5.5 Hasil S33 Pada Balok RBS Tapered Cut*

Setelah melakukan analisa dalam program Abaqus v 6.13, didapat hasil berupa tegangan tarik dan tekan maksimum sebagai berikut:

*Tabel 5.1 Tegangan Tarik Maksimum yang Terjadi*

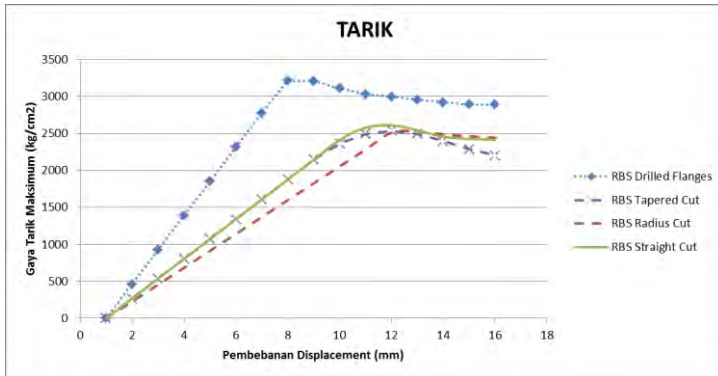
Beban displacement (mm)	RBS Drilled Flanges (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Radius Cut (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Straight Cut (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Tapered Cut (kg/cm <sup>2</sup> )
1	463.09	228.19	268.04	268.30
2	926.18	456.38	536.07	536.61
3	1389.27	684.57	804.10	804.91
4	1852.36	912.76	1072.14	1073.21
5	2315.45	1140.95	1340.17	1341.51
6	2778.54	1369.15	1608.21	1609.82
7	3213.14	1597.34	1876.24	1878.12
8	3371.39	1825.53	2144.28	2146.42
9	3324.56	2053.72	2412.31	2383.88
10	3289.10	2281.91	2618.16	2663.69
11	3286.40	2510.10	2664.81	2784.67
12	3280.39	2604.17	2687.37	2812.55
13	3403.54	2648.10	2716.71	2878.53
14	3498.29	2641.88	2754.34	2889.89
15	3529.97	2805.85	2759.75	2924.36

*Tabel 5.2 Tegangan Tekan Maksimum yang Terjadi*

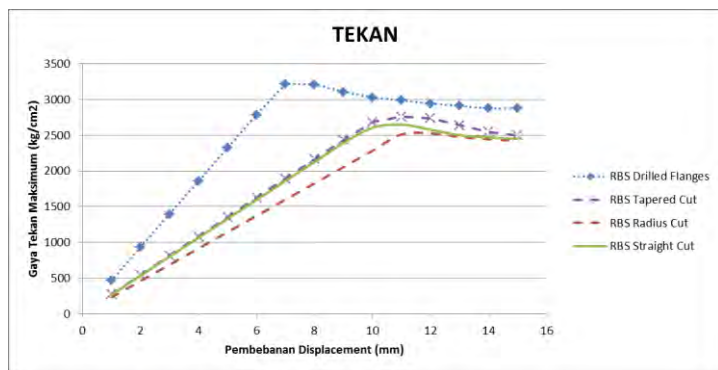
Beban displacement (mm)	RBS Drilled Flanges (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Radius Cut (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Straight Cut (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Tapered Cut (kg/cm <sup>2</sup> )
1	464.263	228.301	265.677	270.64
2	928.526	456.601	531.354	541.279
3	1392.79	684.902	797.03	811.919
4	1857.05	913.203	1062.71	1082.56
5	2321.31	1141.5	1328.38	1353.2
6	2785.58	1369.8	1594.06	1623.84
7	3219.17	1598.1	1859.74	1894.48
8	3354.23	1826.41	2125.41	2165.12
9	3320.32	2054.71	2391.09	2435.32
10	3285.87	2283.01	2605.6	2680.6
11	3285.93	2511.31	2647.51	2760.01
12	3274.54	2607.09	2666.3	2738.87
13	3395.54	2614.17	2744.25	2875.45
14	3485.33	2644.64	2794.27	2893.21
15	3514.11	2806.75	2798.02	2898.68

Dan berikut adalah hasil tarik dan tekan maksimum jika diinterpretasikan dalam bentuk grafik:





*Gambar 5.6 Grafik Tegangan Tarik Maksimum yang Terjadi*

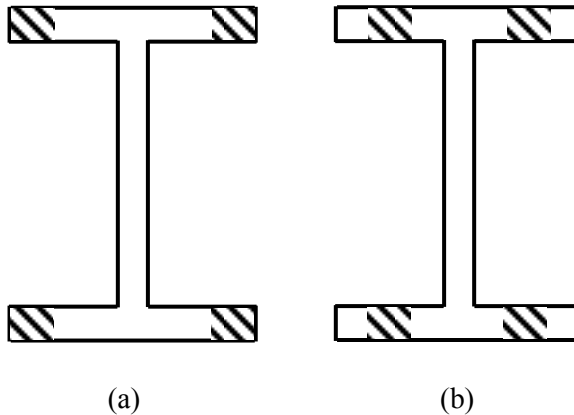


*Gambar 5.7 Grafik Tegangan Tekan Maksimum yang Terjadi*

## 5.2 Analisa Perbandingan Efektivitas Balok RBS

Perbandingan momen yang terjadi di daerah RBS juga menjadi pembanding untuk menentukan balok RBS yang paling optimal. Momen yang terjadi didapat dari perkalian tegangan tarik dan tekan yang terjadi di bagian RBS, dikalikan dengan  $S_x$  RBS. Dari Tabel 5.1 dan Tabel 5.2, didapat tegangan, sedangkan nilai  $S_x$  RBS dapat dilihat dibawah ini:

$S_x$  flens berkurang diberi notasi  $S_{xf}$



*Gambar 5.8 Daerah Terkurangi Pada Penampang RBS*

Keterangan:

(a) RBS Radius Cut, Straight Cut, Tapered Cut

(b) RBS Drilled Flanges

$$S_{xf} = 4 \times \text{_____}$$

$$= 4 \times \frac{[(\text{---}) - (A \text{ ---})]}{\text{---}}$$

$$= 4 \times \frac{[(\text{---}) - (\text{---})]}{3}$$

$$= 749,892 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} S_x \text{ RBS} &= S_x \text{ balok} - S_x \text{ flens berkurang} \\ &= 1910 - 749,892 \\ &= 1160,108 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$M_s = S_x \text{ RBS} \times f_s$$

Momen yang terjadi pada pembebanan 1mm hingga 10mm pada semua tipe balok RBS dapat dilihat pada Tabel 5.3:

*Tabel 5.3 Momen yang Terjadi Pada Daerah RBS*

beban displacement (mm)	RBS Drilled Flanges (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Radius Cut (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Straight Cut (kg/cm <sup>2</sup> )	RBS Tapered Cut (kg/cm <sup>2</sup> )
1	537914.69	264789.95	309581.71	312615.97
2	1075829.97	529579.32	619163.42	625230.78
3	1613744.66	794369.27	928743.97	937846.75
4	2151657.61	1059159.22	1238328.00	1250462.72
5	2689570.57	1323943.95	1547902.75	1563076.96
6	3227489.32	1588738.54	1857489.10	1875696.99
7	3731086.29	1853527.33	2167069.64	2188311.22
8	3901221.89	2118321.92	2476650.19	2500925.45
9	3854388.34	2383110.71	2786230.74	2795395.59
10	3813836.77	2647899.50	3030062.19	3099976.08
11	3812305.43	2912688.29	3081431.76	3216213.07
12	3802212.49	3022811.51	3105416.98	3220122.64
13	3943832.64	3052400.06	3167650.96	3337618.35
14	4050875.78	3066466.37	3218492.69	3354509.52
15	4085945.84	3255610.33	3223805.98	3377676.87

Indikator dari momen untuk menentukan balok RBS yang paling efektif adalah balok yang paling mampu menahan beban yang diterima, sehingga momen plastisnya tercipta pada beban yang lebih besar dibandingkan tipe yang lain. Momen plastis tercipta ketika:

$$\begin{aligned} M_p &= S_x \text{ RBS} \times f_y \text{ BJ41} \\ &= 1160,108 \times 2500 \\ &= 2.900.270 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Sehingga, momen yang tercipta harus lebih kecil dari momen plastis sebesar 2.900.270 kgcm. Pada Tabel 5.3 diatas, cell yang ditandai dengan highlight warna kuning menunjukkan balok tersebut sudah mencapai batas plastisnya.

Berikut adalah Tabel 5.4 yang menunjukkan performa balok RBS diurutkan dari yang paling efektif pada pembebanan displacement 10mm:

*Tabel 5.4 Perbandingan Efektivitas Balok RBS*

No	Tipe Balok RBS	Tegangan Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Tarik (kg/cm <sup>2</sup> )	Momen yang Terbentuk (kgcm)
1	Radius Cut	2283,01	2281,91	2647899,5
2	Straight Cut	2605,6	2618,16	3030062,2
3	Tapered Cut	2680,6	2663,69	3099976,1
4	Drilled Flanges	3285,87	3289,10	3813836,8

### 5.3 Analisa Perbandingan Efektivitas Dengan M- $\phi$ Diagram

Selain membandingkan tegangan maupun momen keempat tipe balok RBS, juga ditinjau perbandingan M- $\phi$  diagram yang ditimbulkan oleh keempat tipe balok RBS. M- $\phi$  diagram menghubungkan momen yang terjadi di zona RBS dengan kurvatur pada zona RBS. Kurvatur adalah pembagian regangan (strain) pada penampang balok dengan setengah dari tinggi penampang balok.

*Tabel 5.5 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe Drilled Flanges*

Beban (mm)	Momen (kgcm)	E33 (cm)	h/2 (cm)	Kurvatur (rad)
1	537914.6934	-0.0000738	25	0.0000030
2	1075829.967	-0.0001477	25	0.0000059
3	1613744.66	-0.0002215	25	0.0000089
4	2151657.614	-0.0002953	25	0.0000118
5	2689570.567	-0.0003692	25	0.0000148
6	3227489.321	-0.0004430	25	0.0000177
7	3731086.287	-0.0005169	25	0.0000207
8	3722391.28	-0.0005916	25	0.0000237
9	3606171.687	-0.0006663	25	0.0000267
10	3516054.518	-0.0007434	25	0.0000297
11	3473472.764	-0.0008228	25	0.0000329
12	3419278.331	-0.0009060	25	0.0000362
13	3382717.536	-0.0009955	25	0.0000398
14	3345750.703	-0.0010757	25	0.0000430
15	3345692.698	-0.0011521	25	0.0000461

*Tabel 5.6 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe Radius Cut*

Beban (mm)	Momen (kgcm)	E33 (cm)	h/2 (cm)	Kurvatur (rad)
1	264789.9497	-0.0001001	25	0.0000040
2	529579.3194	-0.0002002	25	0.0000080
3	794369.2691	-0.0003003	25	0.0000120
4	1059159.219	-0.0004004	25	0.0000160
5	1323943.948	-0.0005005	25	0.0000200
6	1588738.538	-0.0006006	25	0.0000240
7	1853527.328	-0.0007007	25	0.0000280
8	2118321.918	-0.0008008	25	0.0000320
9	2383110.707	-0.0009009	25	0.0000360
10	2647899.497	-0.0010010	25	0.0000400
11	2912688.287	-0.0011011	25	0.0000440
12	2931516.835	-0.0012279	25	0.0000491
13	2879346.79	-0.0018517	25	0.0000741
14	2845332.432	-0.0025248	25	0.0001010
15	2822397.102	-0.0031613	25	0.0001265

*Tabel 5.7 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe Straight Cut*

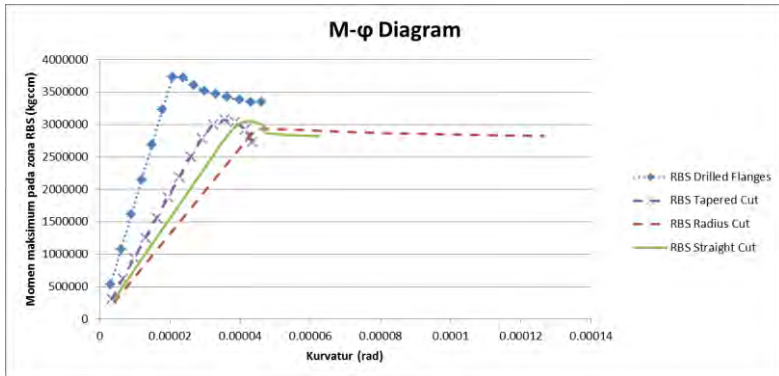
Beban (mm)	Momen (kgcm)	E33 (cm)	h/2 (cm)	Kurvatur (rad)
1	309581.7093	-0.0000989	25	0.0000040
2	619163.4186	-0.0001978	25	0.0000079
3	928743.9678	-0.0002968	25	0.0000119
4	1238327.997	-0.0003957	25	0.0000158
5	1547902.746	-0.0004946	25	0.0000198
6	1857489.096	-0.0005935	25	0.0000237
7	2167069.645	-0.0006925	25	0.0000277
8	2476650.194	-0.0007914	25	0.0000317
9	2786230.743	-0.0008903	25	0.0000356
10	3005955.148	-0.0009878	25	0.0000395
11	3049726.013	-0.0010828	25	0.0000433
12	2970136.822	-0.0011694	25	0.0000468
13	2874833.971	-0.0011787	25	0.0000471
14	2840564.389	-0.0013360	25	0.0000534
15	2820100.088	-0.0015623	25	0.0000625



*Tabel 5.8 Momen dan Kurvatur Balok RBS Tipe Tapered Cut*

Beban (mm)	Momen (kgcm)	E33 (cm)	h/2 (cm)	Kurvatur (rad)
1	312615.9711	-0.0000807	25	0.0000032
2	625230.782	-0.0001613	25	0.0000065
3	937846.7531	-0.0002420	25	0.0000097
4	1250462.724	-0.0003226	25	0.0000129
5	1563076.955	-0.0004033	25	0.0000161
6	1875696.986	-0.0004840	25	0.0000194
7	2188311.217	-0.0005646	25	0.0000226
8	2500925.448	-0.0006453	25	0.0000258
9	2782657.611	-0.0007259	25	0.0000290
10	3000879.677	-0.0008060	25	0.0000322
11	3072620.739	-0.0008847	25	0.0000354
12	3034064.558	-0.0009625	25	0.0000385
13	2922676.814	-0.0010350	25	0.0000414
14	2803916.586	-0.0010708	25	0.0000428
15	2726264.774	-0.0010819	25	0.0000433

Setelah mendapatkan momen dan kurvatur dari tiap tipe balok RBS, kemudian hasil diplotkan pada M- $\phi$  diagram sesuai pada Gambar 5.9:



*Gambar 5.9 M-φ Diagram Keempat Balok RBS*

Pada M-φ diagram, kurva dengan kemiringan paling landai memiliki performance paling baik. Pada Gambar 5.9 diatas, dapat dilihat RBS Radius Cut memiliki performance paling baik. Urutan tipe RBS sama jika dibandingkan pada perbandingan tegangan dan momen.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

1. Keempat tipe balok reduced beam section (RBS) memiliki gradien kenaikan tegangan tekan maupun tarik yang hampir sama. Dimana balok RBS tipe radius cut memiliki gradien terkecil, sedangkan balok RBS tipe drilled flanges memiliki gradien terbesar.
2. Pada pengujian pembebanan displacement 10mm, Balok RBS radius cut memiliki tegangan tekan sebesar 2283,01 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan tarik sebesar 2281,91 kg/cm<sup>2</sup> dan momen sebesar 1.711.599,10 kgcm. Balok RBS straight cut memiliki tegangan tekan sebesar 2605,6 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan tarik sebesar 2618,16 kg/cm<sup>2</sup> dan momen sebesar 1.958.628,61 kgcm. Balok RBS tapered cut memiliki tegangan tekan sebesar 2680,6 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan tarik sebesar 2663,69 kg/cm<sup>2</sup> dan momen sebesar 2.003.820,87 kgcm. Balok RBS drilled flanges memiliki tegangan tekan sebesar 3285,87 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan tarik sebesar 3289,10 kg/cm<sup>2</sup> dan momen sebesar 2.465.259,58 kgcm. Hal ini berarti hanya balok RBS tipe radius cut yang belum terjadi plastis ketika dibebani beban displacement sebesar 10mm, sedangkan pada ketiga tipe lain suda terbentuk plastis.
3. Jika ditinjau dari perbandingan tegangan, momen, dan M- $\phi$  diagram, balok Reduced Beam Section tipe Radius Cut memiliki efektivitas paling baik dibanding balok tipe yang lain.

#### **6.2 Saran**

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga saran dan kritik akan sangat membantu guna

menyempurnakan tugas akhir ini. Terlebih, perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang balok reduced beam section, dengan menggunakan balok yang berbeda-beda, dan beban yang berbeda-beda. Sehingga, didapat hasil yang lebih valid. Selain itu, disarankan untuk studi yang serupa dengan tugas akhir ini, pada perhitungan momen dilakukan dengan cara momen kopel yang terjadi pada penampang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajay, K. S., Gaurang, V., 2013. “A Study of Reduced Beam Section Profiles using Finite Element Analysis”. **Departement of ASGE, Army Institute of Technology, India.**
- Makhmalbaf, M.O, dkk. 2011. “Assessment of the Adaptive Pushover Analysis Using Displacement-based Loading in Prediction the Seismic Behaviour of the Unsymmetric-Plan Buildings”. **World Academy of Science, Engineering and Technology**
- Shakya, A. M. 2011. “P-Delta Effects on Steel Moment Frames With Reduced Beam Section Connection”. **Southern Illinois University Carbonale.**

## BIODATA PENULIS



Widya Ari Primadi dilahirkan di Palu, 15 Februari 1993. Anak kedua dari dua bersaudara ini telah menempuh pendidikan formal di SD Al Falah Tropodo, SMP Al Falah Deltasari dan SMA Negeri 1 Sidoarjo. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan lulus pada tahun 2015.

Di Jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil tugas akhir pada bidang struktur, dengan judul “Studi Perbandingan Berbagai Tipe Balok *Reduced Beam Section* dengan Metode Finite Element”. Penulis sempat mengikuti berbagai lomba ketekniksipilan dan beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Sipil maupun institut.

## LAMPIRAN

Pada bagian ini akan dilampirkan hasil dari gaya yang terjadi di zona sendi plastis pada tiap-tiap balok Reduced Beam Section. Gaya yang ditampilkan adalah gaya maksimum, minimum yang terjadi dan titik terjadinya gaya-gaya tersebut. Gaya ditunjukkan pada kolom S.S33

### Balok Reduced Beam Section Drilled Flanges

Beban Displacement 1mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-154.26	-84.09	-464.26	-14.82	-116.14	-34.53
At Node	3511.00	15424.00	159.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	139.81	84.19	463.09	15.95	109.55	17.22
At Node	136.00	17436.00	89.00	15069.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 2mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-308.51	-168.19	-928.53	-29.65	-232.27	-69.07
At Node	3511.00	15424.00	159.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	279.62	168.37	926.18	31.90	219.11	34.44
At Node	136.00	17436.00	89.00	15069.00	14767.00	16916.00



Beban Displacement 3mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-462.77	-252.28	-1392.79	-44.47	-348.41	-103.60
At Node	3511.00	15424.00	159.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	419.42	252.56	1389.27	47.84	328.66	51.67
At Node	136.00	17436.00	89.00	15069.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 4mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-617.02	-336.37	-1857.05	-59.30	-464.54	-138.13
At Node	3511.00	15424.00	159.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	559.23	336.75	1852.36	63.79	438.21	68.89
At Node	136.00	17436.00	89.00	15069.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 5mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-771.28	-420.46	-2321.31	-74.12	-580.68	-172.66
At Node	3511.00	15424.00	159.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	699.04	420.93	2315.45	79.74	547.76	86.11
At Node	136.00	17436.00	89.00	15069.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 6mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-925.54	-504.56	-2785.58	-88.95	-696.82	-207.20
At Node	3511.00	15424.00	159.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	838.85	505.12	2778.54	95.69	657.32	103.33
At Node	136.00	17436.00	89.00	15069.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 7mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1079.60	-588.62	-3219.17	-103.80	-813.13	-241.73
At Node	3511.00	15424.00	159.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	978.54	589.28	3213.14	111.57	768.83	120.61
At Node	136.00	17436.00	89.00	15069.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 8mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1232.90	-672.12	-3354.23	-119.22	-930.84	-276.32
At Node	3511.00	15424.00	148.00	12854.00	17127.00	9522.00
Maximum	1118.83	672.87	3371.39	131.17	873.01	140.35
At Node	136.00	17436.00	78.00	14732.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 9mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1386.34	-754.53	-3320.32	-149.16	-1014.66	-310.95
At Node	3511.00	15424.00	99.00	15243.00	17127.00	9522.00
Maximum	1261.43	755.43	3324.56	176.17	951.81	189.88
At Node	136.00	17436.00	78.00	14732.00	14767.00	13540.00

Beban Displacement 10mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1539.98	-835.81	-3285.87	-178.10	-1071.64	-345.67
At Node	3511.00	15424.00	13533.00	15243.00	17127.00	9522.00
Maximum	1409.66	836.82	3289.10	206.33	1001.42	219.03
At Node	136.00	17436.00	3191.00	14732.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 11mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1694.36	-915.61	-3285.93	-181.54	-1120.84	-380.44
At Node	3511.00	15424.00	127.00	15243.00	17127.00	9522.00
Maximum	1559.74	916.71	3286.40	219.92	1034.83	254.26
At Node	136.00	17436.00	183.00	14813.00	14767.00	16916.00

Beban Displacement 12mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1849.13	-992.58	-3274.54	-185.87	-1165.71	-415.05
At Node	3511.00	15424.00	127.00	3911.00	17127.00	9522.00
Maximum	1707.96	993.81	3280.39	265.65	1060.78	304.89
At Node	136.00	17436.00	75.00	14813.00	14767.00	15420.00

Beban Displacement 13mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1996.20	-1062.08	-3395.54	-217.58	-1205.42	-522.19
At Node	3511.00	15424.00	5502.00	16194.00	17127.00	14732.00
Maximum	1844.89	1063.39	3403.54	314.72	1088.38	360.16
At Node	136.00	17436.00	14752.00	14813.00	14767.00	15420.00

Beban Displacement 14mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-2104.05	-1115.73	-3485.33	-233.93	-1198.54	-586.02
At Node	3511.00	15424.00	5502.00	14753.00	17127.00	14732.00
Maximum	1937.29	1117.23	3498.29	337.55	1112.81	394.46
At Node	136.00	17436.00	14752.00	14813.00	14767.00	14948.00

Beban Displacement 15mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-2175.07	-1160.03	-3514.11	-253.80	-1186.89	-601.40
At Node	3511.00	15424.00	5502.00	13730.00	156.00	14753.00
Maximum	2003.58	1161.58	3529.97	350.15	1098.34	436.62
At Node	136.00	17436.00	14752.00	14813.00	5226.00	14948.00

**Balok Reduced Beam Section Radius Cut**

Beban Displacement 1mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-81.61	-81.61	-228.30	-6.98	-63.38	-34.68
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	81.29	81.29	228.19	7.13	63.98	13.71
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 2mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-163.23	-163.23	-456.60	-13.96	-126.76	-69.36
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	162.59	162.59	456.38	14.26	127.96	27.42
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 3mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-244.84	-244.84	-684.90	-20.94	-190.13	-104.04
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	243.88	243.88	684.57	21.39	191.94	41.12
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00



Beban Displacement 4mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-326.46	-326.46	-913.20	-27.93	-253.51	-138.73
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	325.18	325.18	912.76	28.53	255.92	54.83
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 5mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-408.07	-408.07	-1141.50	-34.91	-316.89	-173.41
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	406.47	406.47	1140.95	35.66	319.90	68.54
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 6mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-489.69	-489.69	-1369.80	-41.89	-380.27	-208.09
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	487.77	487.77	1369.15	42.79	383.89	82.25
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 7mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-571.30	-571.30	-1598.10	-48.87	-443.64	-242.77
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	569.06	569.06	1597.34	49.92	447.87	95.95
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 8mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-652.92	-652.92	-1826.41	-55.85	-507.02	-277.45
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	650.35	650.35	1825.53	57.05	511.85	109.66
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 9mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-734.53	-734.53	-2054.71	-62.83	-570.40	-312.13
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	731.65	731.65	2053.72	64.18	575.83	123.37
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 10mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-816.15	-816.15	-2283.01	-69.81	-633.78	-346.81
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	812.94	812.94	2281.91	71.32	639.81	137.08
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 11mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-897.76	-897.76	-2511.31	-76.79	-697.15	-381.49
At Node	10120.00	10120.00	11647.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	894.24	894.24	2510.10	78.45	703.79	150.79
At Node	14300.00	14300.00	12913.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 12mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-977.66	-977.66	-2607.09	-83.69	-758.50	-416.56
At Node	10120.00	10120.00	1619.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	973.80	973.80	2604.17	85.49	765.25	164.03
At Node	14300.00	14300.00	820.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 13mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1035.40	-1035.40	-2614.17	-89.06	-792.65	-453.73
At Node	10120.00	10120.00	461.00	7665.00	12247.00	7664.00
Maximum	1031.35	1031.35	2648.10	91.61	799.33	171.64
At Node	14300.00	14300.00	7639.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 14mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1079.57	-1079.57	-2644.64	-93.72	-811.10	-500.06
At Node	10120.00	10120.00	9942.00	7665.00	12247.00	3913.00
Maximum	1074.75	1074.75	2641.88	96.77	816.64	176.27
At Node	14300.00	14300.00	2590.00	10094.00	135.00	13341.00

Beban Displacement 15mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1114.67	-1114.67	-2806.75	-97.77	-822.86	-562.30
At Node	10120.00	10120.00	1517.00	7665.00	12247.00	3913.00
Maximum	1109.43	1109.43	2805.85	101.56	828.32	192.51
At Node	14300.00	14300.00	1510.00	10094.00	135.00	11592.00

### Balok Reduced Beam Section Straight Cut

Beban Displacement 1mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-72.96	-72.96	-265.68	-7.49	-71.79	-36.06
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	72.64	72.64	268.04	7.25	67.21	11.03
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 2mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-145.91	-145.91	-531.35	-14.98	-143.57	-72.11
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	145.28	145.28	536.07	14.49	134.42	22.06
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 3mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-218.87	-218.87	-797.03	-22.48	-215.36	-108.17
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	217.92	217.92	804.10	21.74	201.63	33.09
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 4mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-291.82	-291.82	-1062.71	-29.97	-287.14	-144.23
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	290.55	290.55	1072.14	28.98	268.84	44.12
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00



Beban Displacement 5mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-364.78	-364.78	-1328.38	-37.46	-358.93	-180.28
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	363.19	363.19	1340.17	36.23	336.05	55.15
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 6mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-437.73	-437.73	-1594.06	-44.95	-430.72	-216.34
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	435.83	435.83	1608.21	43.48	403.26	66.18
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 7mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-510.69	-510.69	-1859.74	-52.44	-502.50	-252.39
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	508.47	508.47	1876.24	50.72	470.47	77.21
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 8mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-583.64	-583.64	-2125.41	-59.93	-574.29	-288.45
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	581.11	581.11	2144.28	57.97	537.68	88.24
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 9mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-656.60	-656.60	-2391.09	-67.43	-646.08	-324.51
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	653.75	653.75	2412.31	65.22	604.89	99.27
At Node	13469.00	13469.00	10949.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 10mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-729.10	-729.10	-2605.60	-74.97	-705.24	-361.32
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	725.94	725.94	2618.16	72.46	664.78	110.10
At Node	13469.00	13469.00	10313.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 11mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-800.70	-800.70	-2647.51	-82.51	-762.75	-399.38
At Node	13035.00	13035.00	9532.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	797.15	797.15	2664.81	79.66	724.99	120.92
At Node	13469.00	13469.00	10313.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 12mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-870.32	-870.32	-2666.30	-90.01	-825.92	-439.16
At Node	13035.00	13035.00	10441.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	866.16	866.16	2687.37	86.70	794.24	131.67
At Node	13469.00	13469.00	2566.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 13mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-925.93	-925.93	-2744.25	-96.88	-855.39	-488.25
At Node	13035.00	13035.00	1539.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	921.53	921.53	2716.71	92.78	830.76	139.24
At Node	13469.00	13469.00	10269.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 14mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-966.15	-966.15	-2794.27	-102.80	-874.46	-538.23
At Node	13035.00	13035.00	1539.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	961.49	961.49	2754.34	97.23	848.28	144.76
At Node	13469.00	13469.00	785.00	2373.00	36.00	34.00

Beban Displacement 15mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-996.19	-996.19	-2798.02	-107.90	-893.67	-579.97
At Node	13035.00	13035.00	1539.00	8789.00	5.00	2594.00
Maximum	991.33	991.33	2759.75	100.99	865.05	149.84
At Node	13469.00	13469.00	785.00	2373.00	36.00	34.00

**Balok Reduced Beam Section Tapered Cut**

Beban Displacement 1mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-81.09	-81.09	-270.64	-7.20	-54.36	-30.36
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	80.97	80.97	268.30	7.24	52.64	9.69
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 2mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-162.19	-162.19	-541.28	-14.41	-108.73	-60.72
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	161.94	161.94	536.61	14.48	105.28	19.38
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 3mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-243.28	-243.28	-811.92	-21.61	-163.09	-91.09
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	242.90	242.90	804.91	21.72	157.92	29.07
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 4mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-324.38	-324.38	-1082.56	-28.82	-217.46	-121.45
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	323.87	323.87	1073.21	28.96	210.56	38.75
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 5mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-405.47	-405.47	-1353.20	-36.02	-271.82	-151.81
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	404.84	404.84	1341.51	36.20	263.20	48.44
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00



Beban Displacement 6mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-486.57	-486.57	-1623.84	-43.23	-326.19	-182.17
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	485.81	485.81	1609.82	43.44	315.84	58.13
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 7mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-567.66	-567.66	-1894.48	-50.43	-380.55	-212.53
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	566.78	566.78	1878.12	50.69	368.48	67.82
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 8mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-648.76	-648.76	-2165.12	-57.64	-434.92	-242.90
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	647.74	647.74	2146.42	57.93	421.12	77.51
At Node	22.00	22.00	12113.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 9mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-729.89	-729.89	-2435.32	-64.84	-489.21	-273.26
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	728.64	728.64	2383.88	65.17	473.84	87.20
At Node	22.00	22.00	12412.00	3066.00	8969.00	28.00

Beban Displacement 10mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-810.48	-810.48	-2680.60	-72.00	-539.18	-303.51
At Node	24.00	24.00	12204.00	5184.00	12205.00	11766.00
Maximum	809.16	809.16	2663.69	72.37	525.66	96.84
At Node	22.00	22.00	12412.00	3066.00	13.00	28.00

Beban Displacement 11mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-890.71	-890.71	-2760.01	-82.98	-589.73	-333.43
At Node	24.00	24.00	12204.00	12113.00	29.00	11766.00
Maximum	888.17	888.17	2784.67	79.49	580.00	106.42
At Node	22.00	22.00	12412.00	3066.00	3.00	28.00

Beban Displacement 12mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-970.18	-970.18	-2738.87	-103.15	-652.87	-363.24
At Node	24.00	24.00	12204.00	12113.00	29.00	11766.00
Maximum	966.14	966.14	2812.55	86.56	653.19	115.97
At Node	22.00	22.00	30.00	3066.00	3.00	28.00

Beban Displacement 13mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1045.66	-1045.66	-2875.45	-103.68	-717.14	-392.07
At Node	24.00	24.00	11281.00	12113.00	29.00	11766.00
Maximum	1040.58	1040.57	2878.53	93.33	716.34	125.06
At Node	22.00	22.00	12116.00	3066.00	3.00	28.00

Beban Displacement 14mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1102.53	-1102.53	-2893.21	-98.20	-767.39	-416.35
At Node	24.00	24.00	11281.00	5184.00	29.00	11766.00
Maximum	1097.93	1097.93	2889.89	106.88	764.17	131.78
At Node	22.00	22.00	12116.00	12116.00	3.00	28.00

Beban Displacement 15mm

	S.S11	S.S22	S.S33	S.S12	S.S13	S.S23
Minimum	-1144.42	-1144.42	-2898.68	-102.36	-807.72	-506.54
At Node	24.00	24.00	11281.00	5184.00	29.00	8894.00
Maximum	1140.23	1140.23	2924.36	107.29	800.27	139.00
At Node	22.00	22.00	12416.00	12116.00	3.00	8075.00